UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – CAMPUS CURITIBA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA - DAELT
Amplificadores Operacionais e Semicondutores – ELT74E
Prof.ª Elisabete Nakoneczny Moraes

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA

UTFPR UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CAMPUS CURITIBA

FONTE DE ALIMENTAÇÃO LINEAR

AOS09–ETAPA FILTRO, ETAPA ESTABILIZAÇÃO, ORIENTAÇÕES CONSTRUÇÃO FONTE APS

Curitiba, 30 de outubro de 2024.

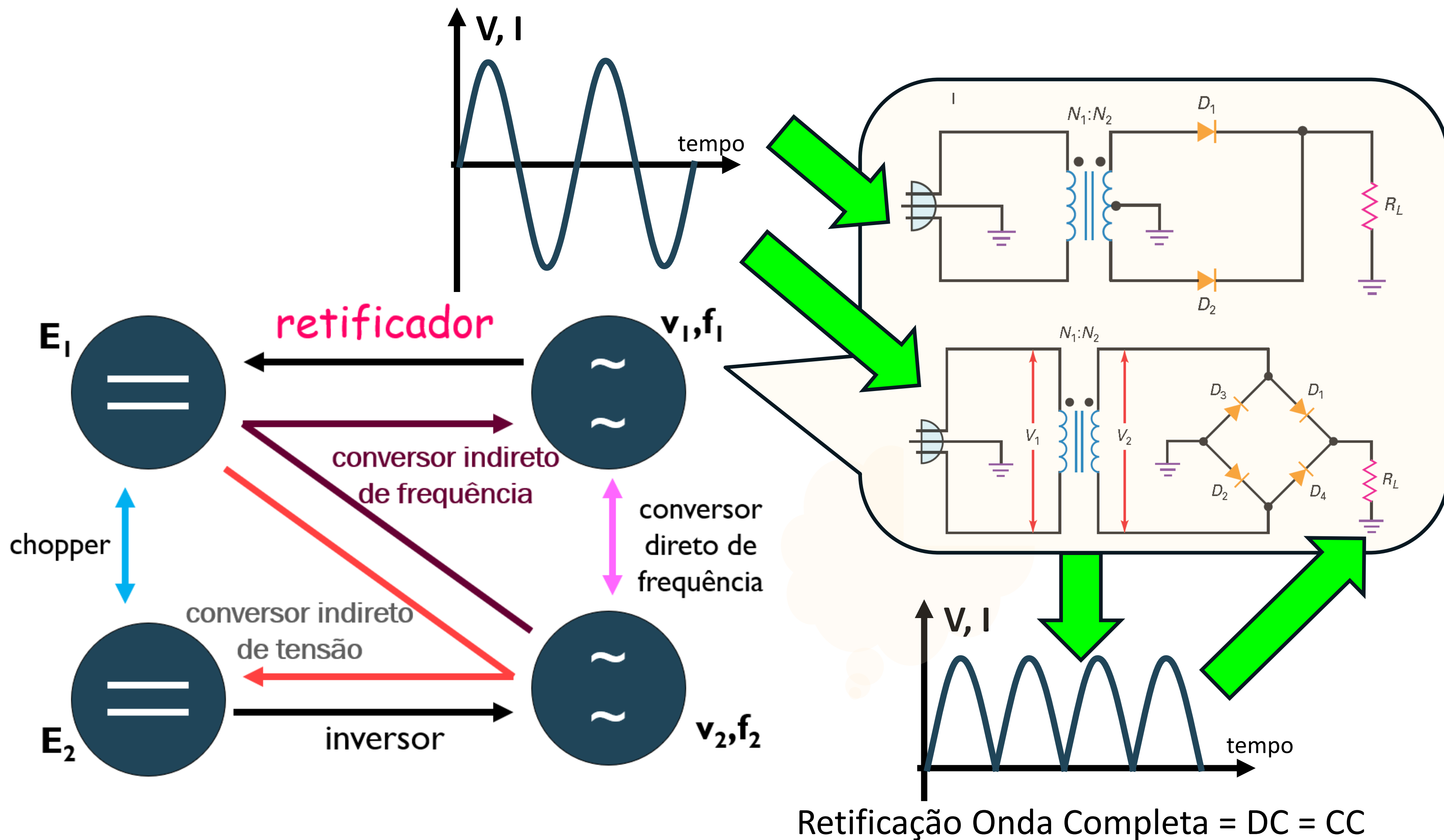
AGENDA

1. Revisão
2. Eficiência retificadores
3. Etapa do filtro
    1. Cálculo do capacitor exato
    2. Cálculo do capacitor aproximado
4. Etapa da estabilização
5. Orientações sobre a atividade prática da construção da fonte de alimentação linear

Vídeos no bloco REPOSITÓRIO DA DISCIPLINA

- ✓ Tape central
- ✓ Ponte retificadora
- ✓ Etapa do filtro
- ✓ Vídeo interessante sobre a função do capacitor: https://moodle.utfpr.edu.br/mod/book/view.php?id=567555

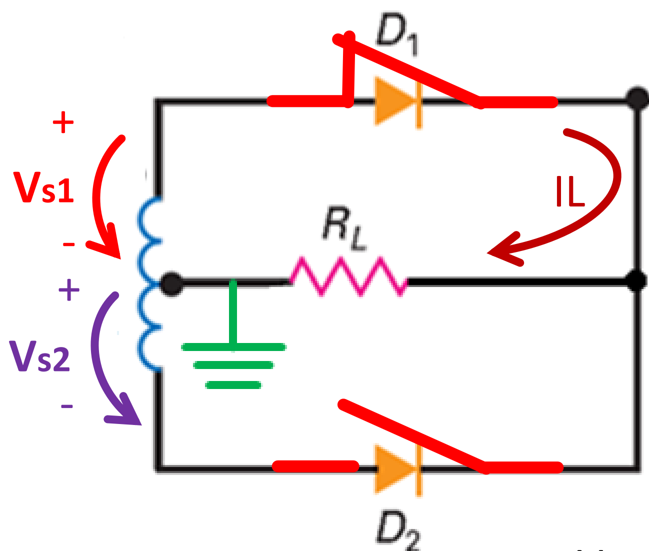
Conversor estático CA em CC= retificador de onda completa

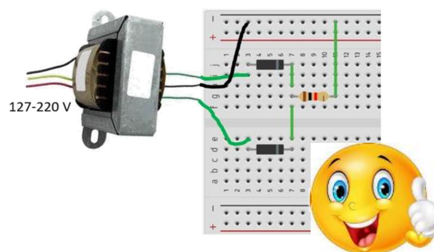


Retificação Onda Completa = DC = CC

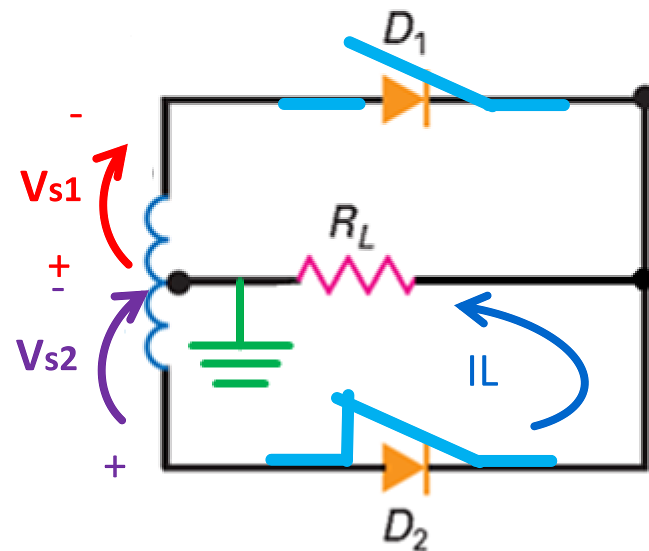
Revisão: tape central

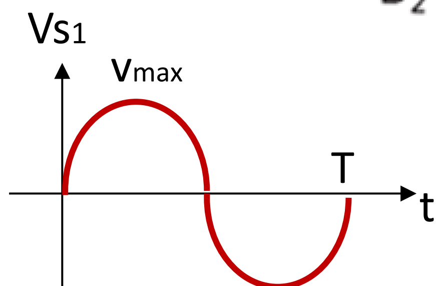
✓SEMICICLO POSITIVO DA SENOIDE

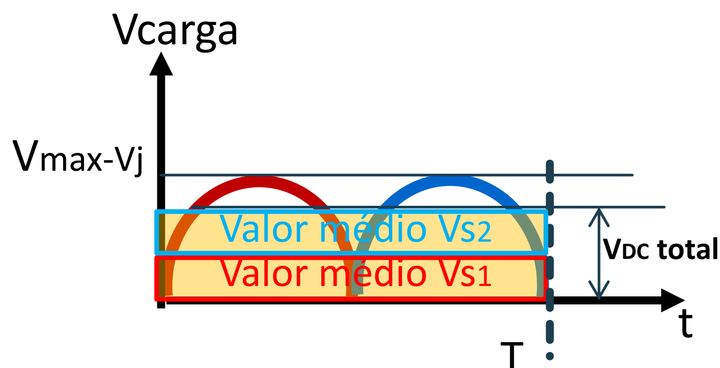


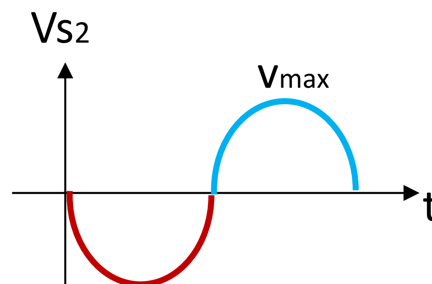


✓SEMICICLO NEGATIVO DA SENOIDE



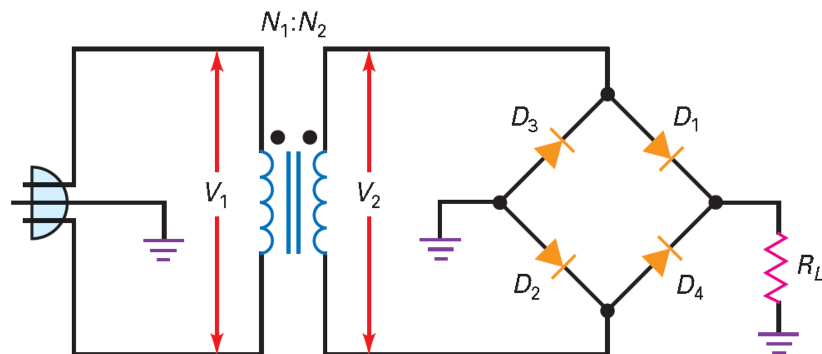


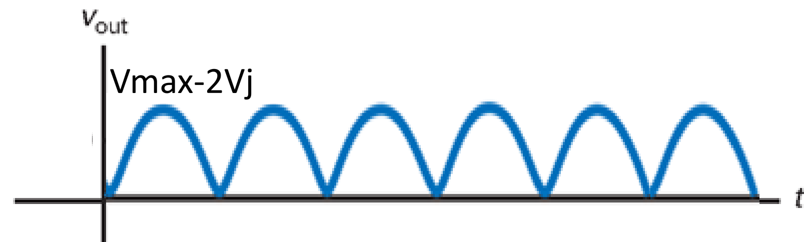




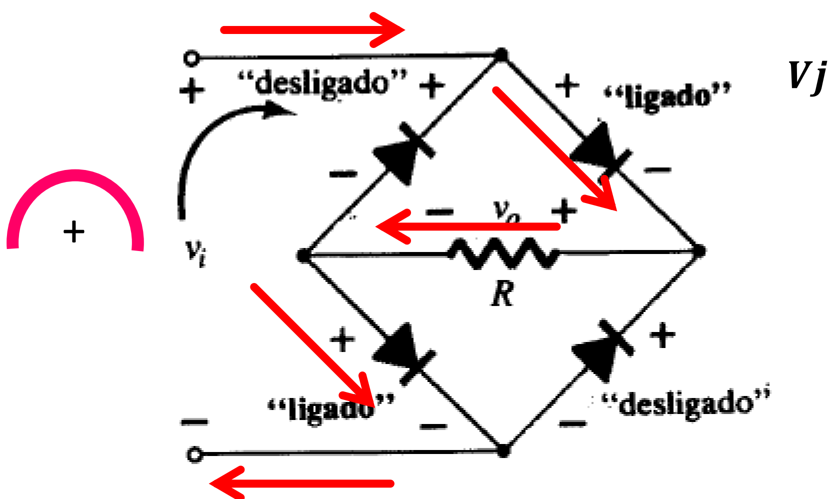
Corrente circula na carga R_L em apenas um único sentido

Resumo: sentido das correntes retificador em ponte

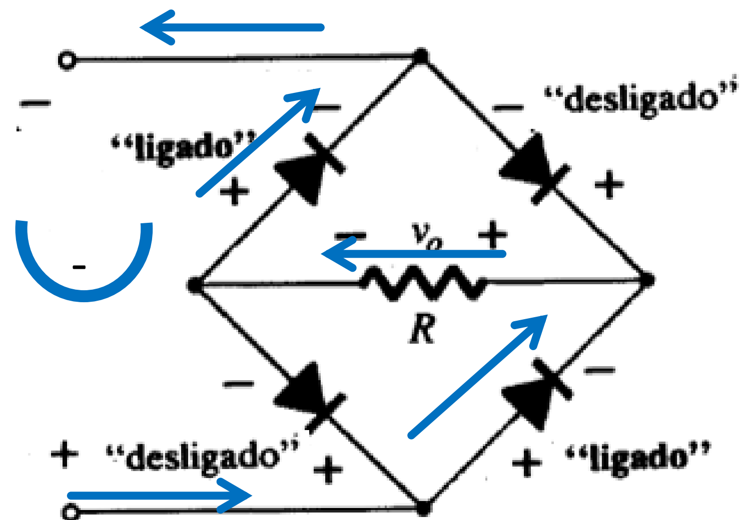




✓SEMICICLO POSITIVO DA SENOIDE

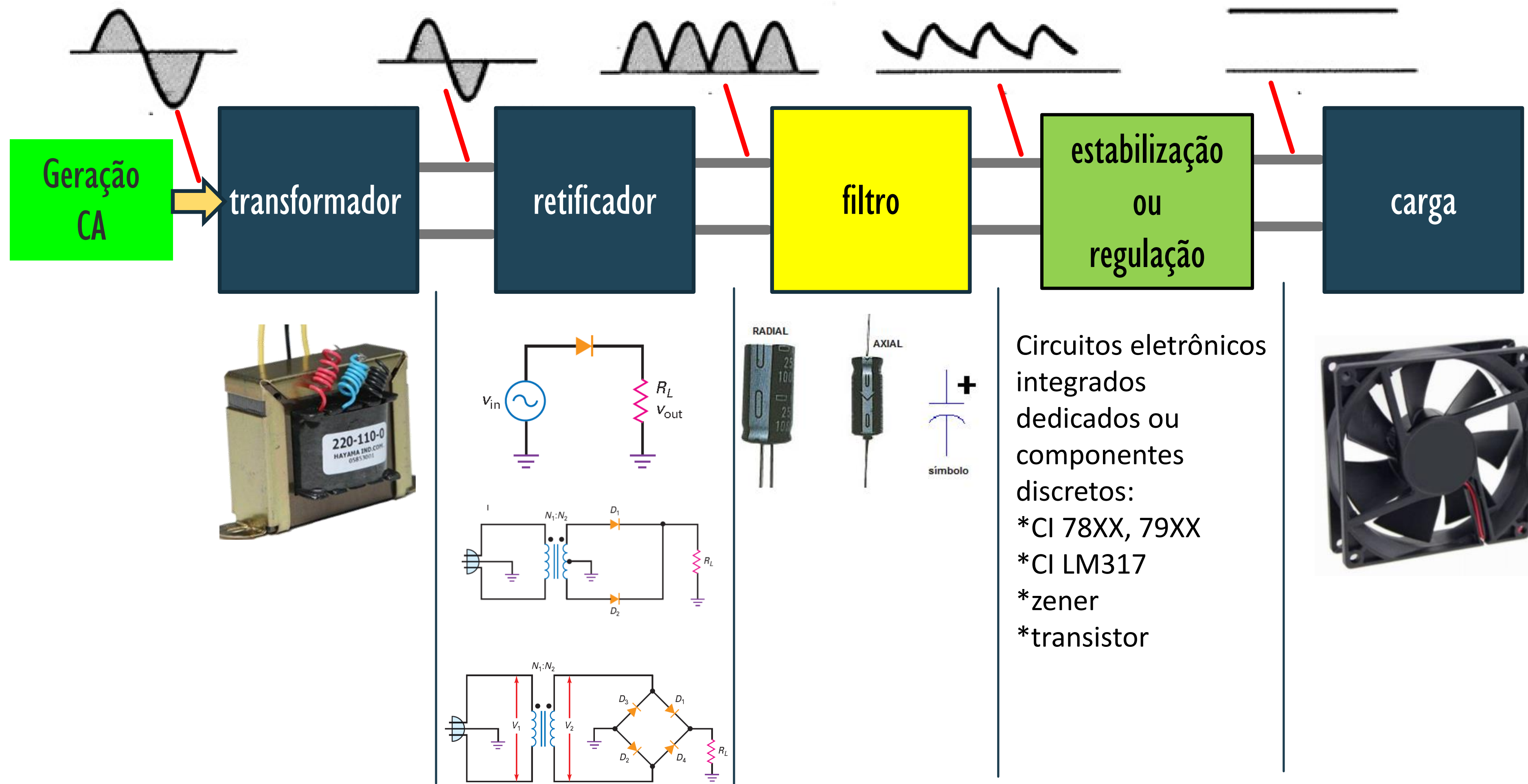


✓SEMICICLO NEGATIVO DA SENOIDE



Corrente circula em apenas um único sentido

Revisão: diagrama em blocos de uma fonte de alimentação linear

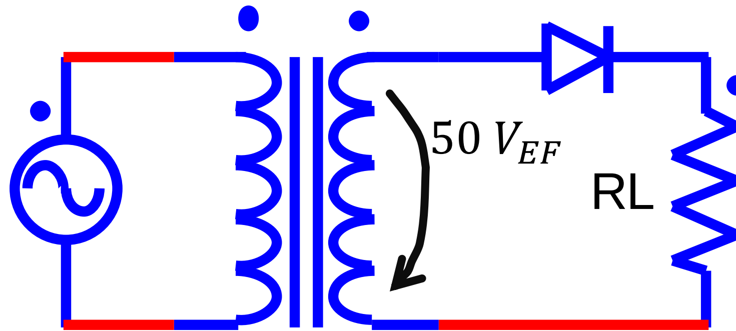


BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. Prentice-Hall do Brasil, 1998, 6ª edição, Capítulo 19.

Eficiência do retificador de meia onda (diodo ideal)

Eficiência (do retificador) ➔ $\eta = \frac{P_{DC}}{P_{AC}}$

Ex1. Calcule a eficiência de um retificador de meia onda puro conectado em 50 Vac e com carga igual a 100 Ω.



i) Cálculo da Potência média ➔ $P_{med} = P_{DC} = V_{DC} I_{DC}$

$$P_{med} = P_{DC} = (V_{rms}\sqrt{2}\ 0{,}318)\ .\frac{(V_{rms}\sqrt{2}\ 0{,}318)}{R_L} = \frac{2V_{rms}^2.(0{,}318^2)}{R_L} = \frac{0{,}202V_{rms}^2}{R_L} =$$

$$P_{med} = P_{DC} = \frac{0{,}202(50^2)}{100} = 5{,}05\ W$$

Eficiência do retificador de meia onda

ii)Cálculo da Potência AC ➔ $P_{AC} = V_{rms} I_{rms}$

Usando a tabela resumo retificadores

$$V_{rms\,meia\,onda} = \frac{V_{max}}{2}$$

➔ ➔ ➔ ➔ ➔

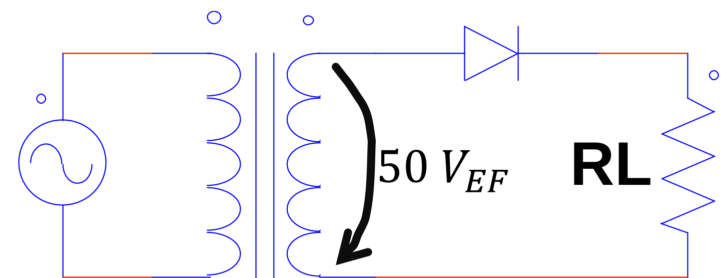
Parâmetro	Meia Onda
Número diodos	1
Frequência saída	$1.(Freq_{entrada})$
Tensão média na carga-V_{DC}=V_{CC} [V]	$\frac{(V_{max} - V_F)}{\pi}$
Tensão eficaz na carga-V_{RMS}=V_{EF} [V]	$\frac{(V_{max} - V_F)}{2}$

$$P_{AC} = \frac{(V_{rms}\sqrt{2}\,)}{2} \cdot \frac{(V_{rms}\sqrt{2}\,)}{2\,R_L} =$$

$$\frac{V_{rms}^2}{2R_L} = \frac{50^2}{2.(100)} = 12{,}5\ W$$

iii) Eficiência do retificador ➔

$$P_{med} = P_{DC} = 5{,}05\ W \qquad P_{AC} = 12{,}5\ W$$

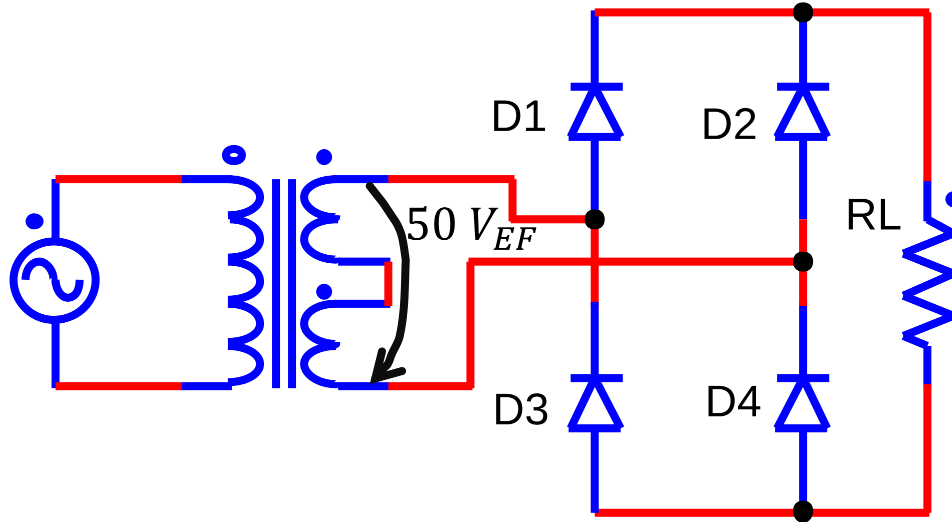


$$\eta = \frac{Pmed}{P_{AC}} = \frac{5{,}05}{12{,}5} = 0{,}405 = 40{,}5\ \%$$

Eficiência do retificador de onda completa (diodo ideal)

Eficiência (do retificador) ➔ $\eta = \frac{P_{DC}}{P_{AC}}$

Ex2. Calcule a eficiência de um retificador em ponte conectado em 50 Vac e com carga igual a 100 Ω.



i) Cálculo da Potência média ➔ $P_{med} = P_{DC} = V_{DC} I_{DC}$

$$P_{med} = P_{DC} = (V_{rms}\sqrt{2}\,0{,}636)\,.\frac{(V_{rms}\sqrt{2}\,0{,}636)}{R_L} = \frac{2V_{rms}^2.(0{,}636)^2}{R_L} = \frac{0{,}809V_{rms}^2}{R_L} =$$

$$P_{med} = P_{DC} = \frac{0{,}809(50^2)}{100} = 20{,}22\ W$$

Eficiência do retificador de onda completa

ii)Cálculo da Potência AC ➔ $P_{AC} = V_{rms} I_{rms}$

Usando a tabela resumo retificadores

$$V_{rms\,ponte} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$P_{AC} = \frac{(V_{rms}\sqrt{2}\,)}{\sqrt{2}} \cdot \frac{(V_{rms}\sqrt{2}\,)}{\sqrt{2}R_L} =$$

Parâmetro	Onda Completa	
	Tape Central	Ponte
Número diodos	2	4
Frequência saída [Hz]	$2.(Freq_{entrada})$	$2.(Freq_{entrada})$
Tensão média na carga- V_{DC}=V_{CC} [V]	$\frac{2.(V_{max} - V_F)}{\pi}$	$\frac{2.(V_{max} - 2V_F)}{\pi}$
Tensão eficaz na carga- V_{RMS}=V_{EF} [V]	$\frac{(V_{max} - V_F)}{\sqrt{2}}$	$\frac{(V_{max} - 2V_F)}{\sqrt{2}}$

$$\frac{V_{rms\cdot}^2}{R_L} = \frac{50^2}{(100)} = 25\ W$$

iii) Eficiência do retificador ➔

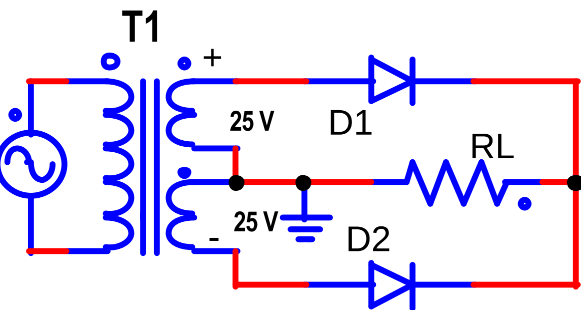
$$P_{med} = P_{DC} = 20{,}22\ W \qquad P_{AC} = 25\ W$$

$$\eta = \frac{P_{DC}}{P_{AC}} = \frac{20{,}22}{25} = 0{,}809 = 80{,}9\ \%$$

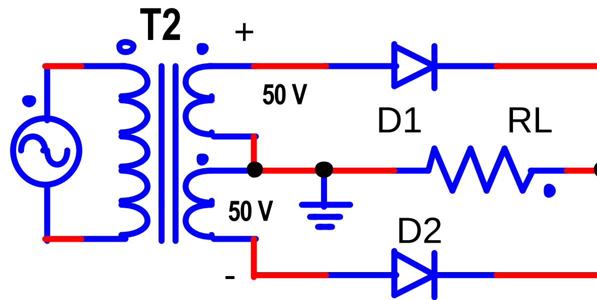
Comparativo eficiência onda completa: tape central x ponte

Exercício: Obter a eficiência para circuitos retificadores puros de tape central e carga igual a 100 Ω para as seguintes topologias. Compare os resultados das eficiências e tensão média entre o meia onda, tape central e ponte.

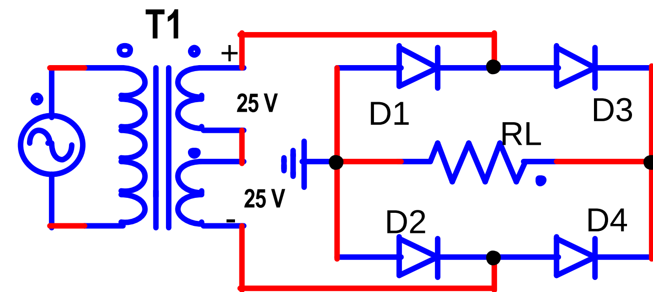
a.1) **Utiliza Transformador1**



a.2) Utiliza Transformador2



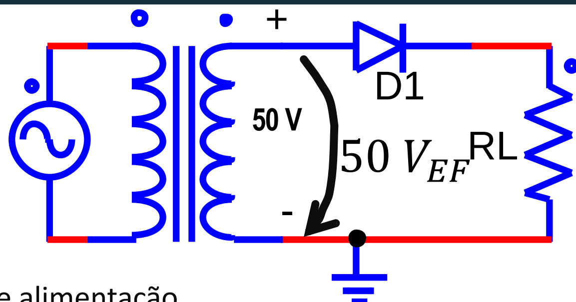
b) **Utiliza Transformador1**



Vdc duplo ½ ➔ 22,4 V | Vdc duplo ½ ➔ 44,9 V | Vdc ponte ➔ 44,9 V

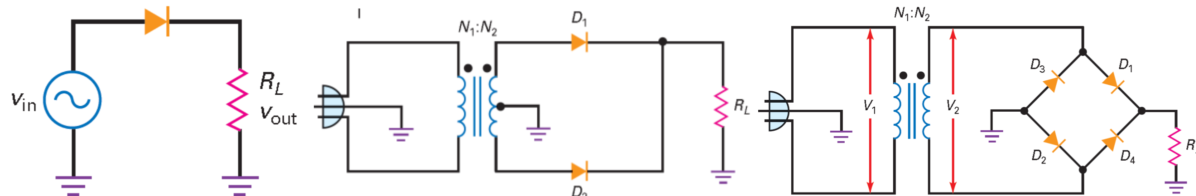
Duplo ½ onda➔**η= 80,9 %** | Ponte ➔ **η= 80,9 %**

Nos retificadores puros de onda completa a eficiência é a mesma, porém a diferença está no nível da tensão DC fornecida para a carga com o uso dos mesmos terminais do transformador.



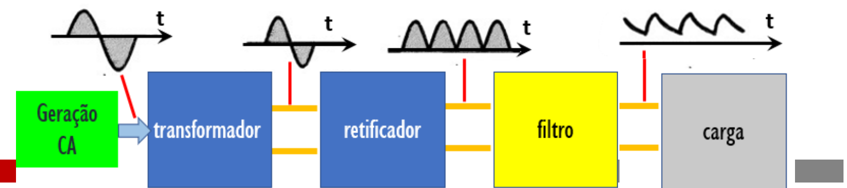
½ onda➔**η= 40,5 %**

Tabela retificadores **sem** a etapa de filtro e regulação

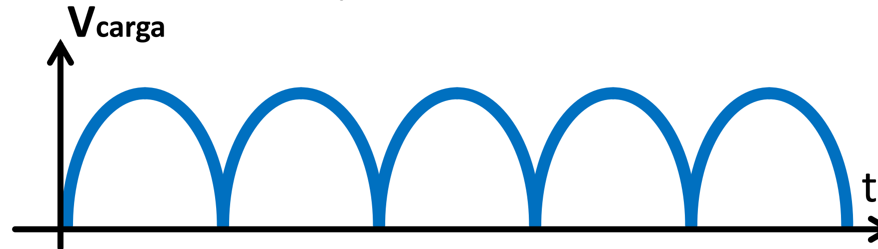


Parâmetro	Meia Onda	Onda Completa	
		Tape Central	Ponte
Número diodos	1	2	4
Frequência saída	$1.(Freq_{entrada})$	$2.(Freq_{entrada})$	$2.(Freq_{entrada})$
Tensão média na carga-V_{DC}=V_{CC} (V)	$\frac{(V_{max}-V_F)}{\pi}$	$\frac{2.(V_{max}-V_F)}{\pi}$	$\frac{2.(V_{max}-2V_F)}{\pi}$
Tensão eficaz na carga-V_{RMS}=V_{EF} (V)	$\frac{(V_{max}-V_F)}{2}$	$\frac{(V_{max}-V_F)}{\sqrt{2}}$	$\frac{(V_{max}-2V_F)}{\sqrt{2}}$
Máxima tensão reversa-TPR=TPI=PIV (V)	$> V_{max}$	$> 2.V_{max}$	$> V_{max}$
Ripple-fator de ondulação (%)	≈ 120	≈ 120	≈ 120
Capacidade de potência aparente do transformador em relação à potência contínua na carga (VA)	$3{,}49\ P_{DC}$ *primário e secundário*	$1{,}23\ P_{DC}$ *primário* $1{,}75\ P_{DC}$ *secundário*	$1{,}23\ P_{DC}$ *primário e secundário*
Eficiência (%)	40,5	80,9	80,9

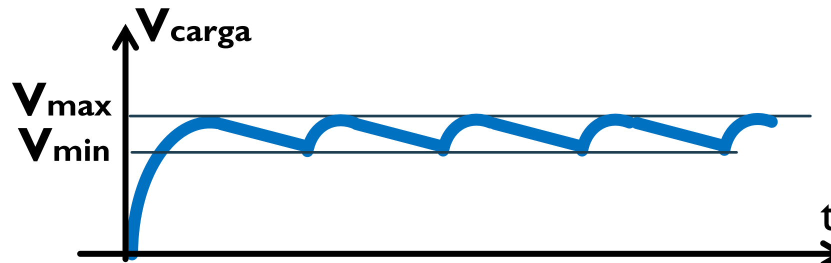
Função da etapa do filtro



A tensão de saída de um retificador aplicada numa carga é unidirecional e pulsante, porém não é estável. Durante um ciclo completo na saída, a tensão na carga aumenta a partir de zero até um valor de pico e depois diminui de volta a zero.
Esse tipo de tensão CC (DC) não é o que a maioria dos circuitos eletrônica precisam.



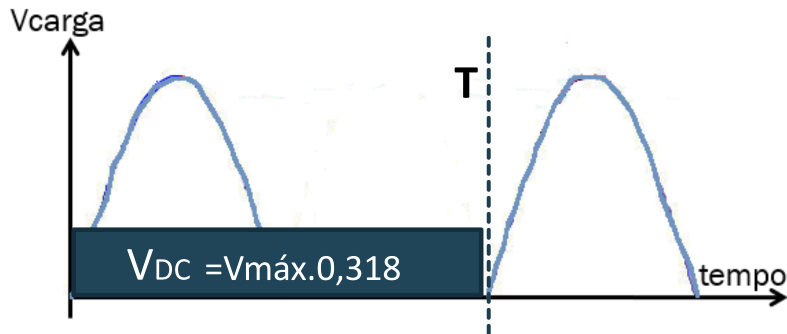
É necessário uma tensão estável ou constante, similar à produzida por uma bateria. Para a obtenção deste tipo de tensão retificada na carga utilizam-se filtros (indutor ou capacitor). Na construção de fontes de alimentação lineares, o uso do **capacitor em paralelo com a carga** é empregado pelas dimensões serem reduzidas em relação ao indutor para a faixa da frequência de operação.



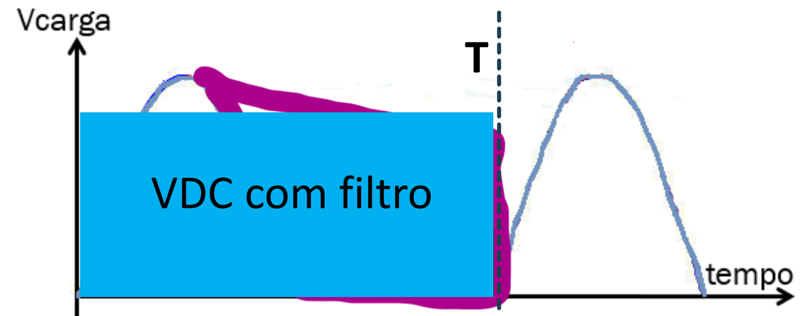
Boylestad, Robert. Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos. 6ª ed. Capítulo 19

Função da etapa do filtro: aumento do nível da tensão DC

Sem filtro



Com filtro

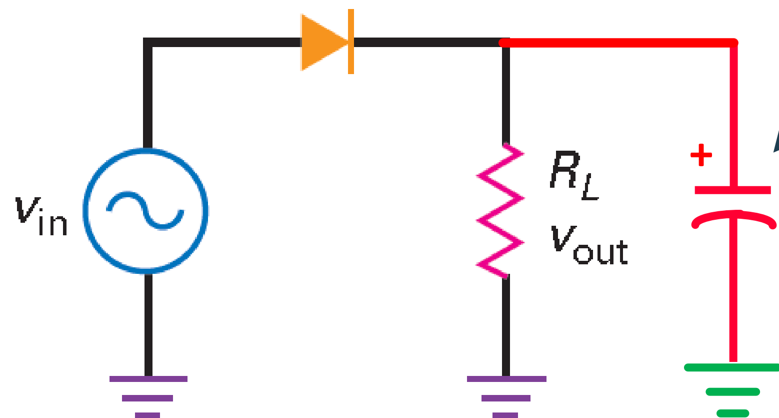


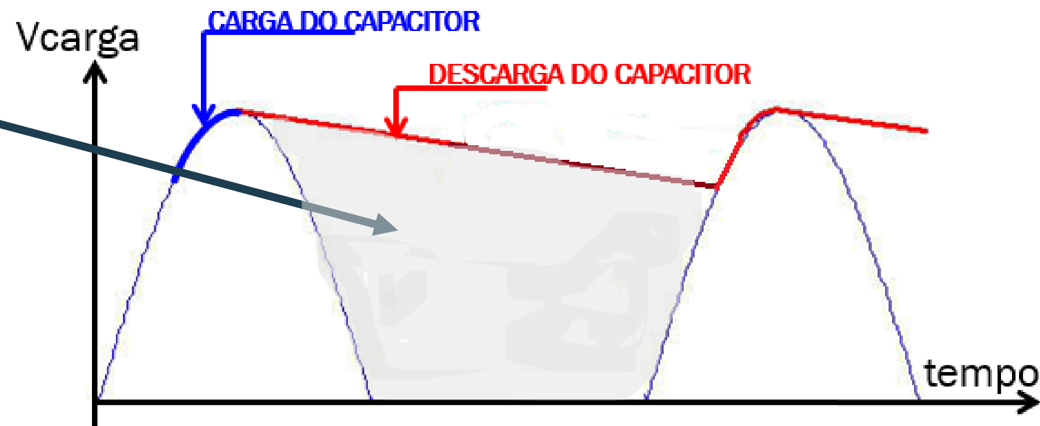
Eficiência do retificador ½ onda

$$\eta = 0{,}405 = 40{,}5\ \%$$

Aumento da tensão média (VDCcom filtro) pelo preenchimento da área sem o semiciclo da tensão.

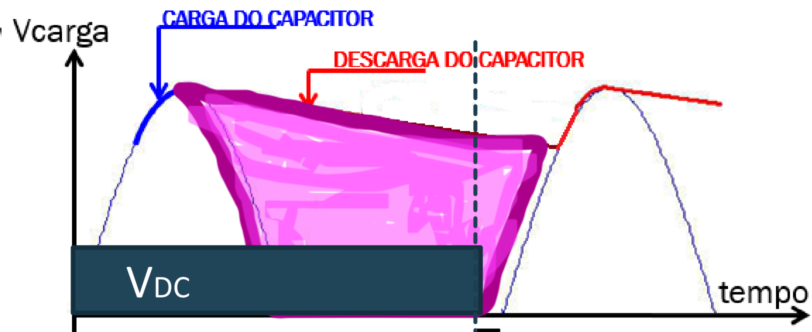
Este efeito é obtido pela inclusão de um capacitor em paralelo com a estrutura retificadora.

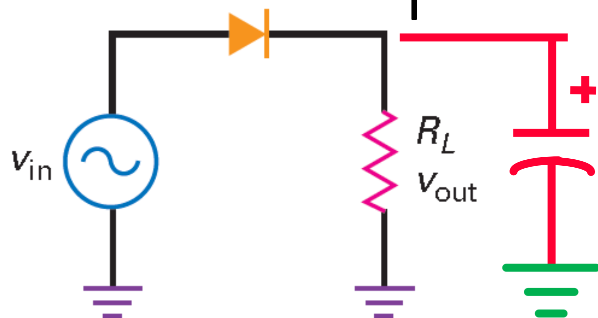


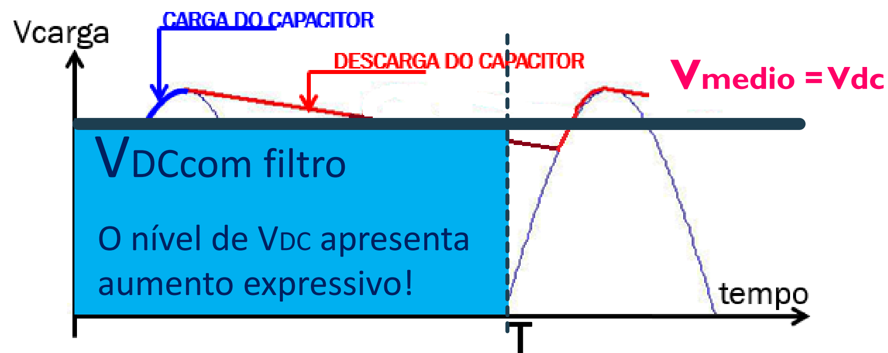


Função da etapa do filtro

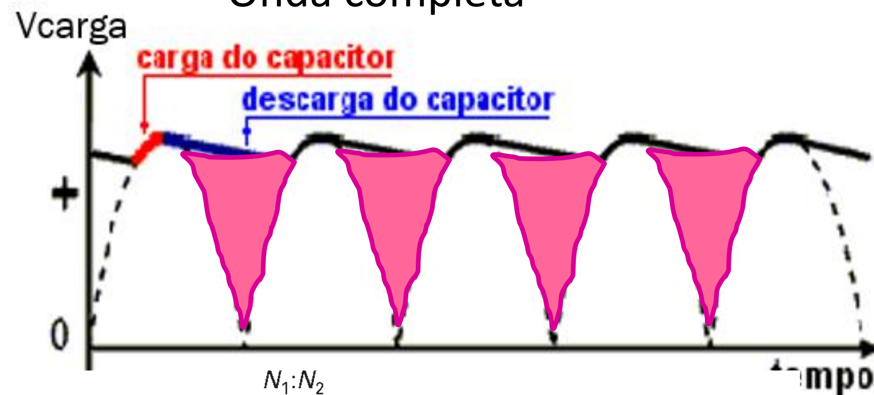
½ onda

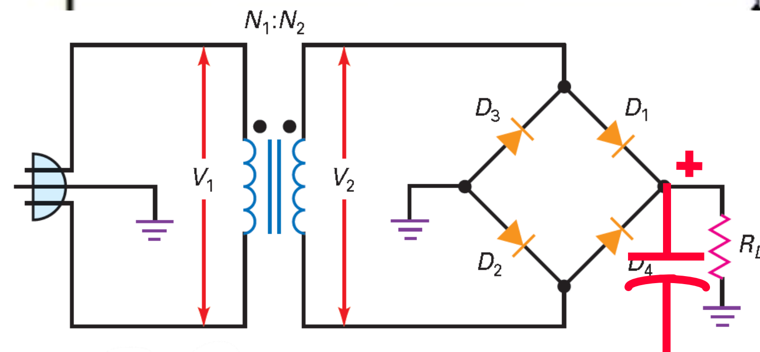






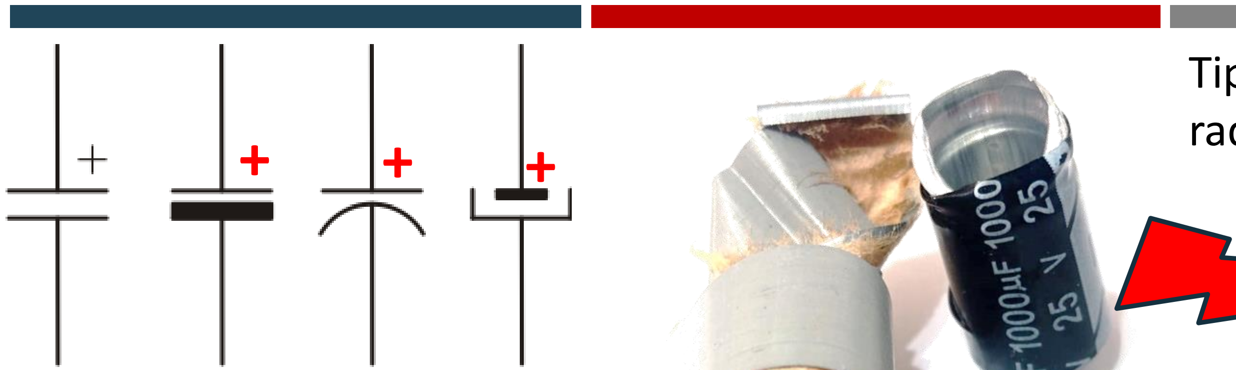
Onda completa



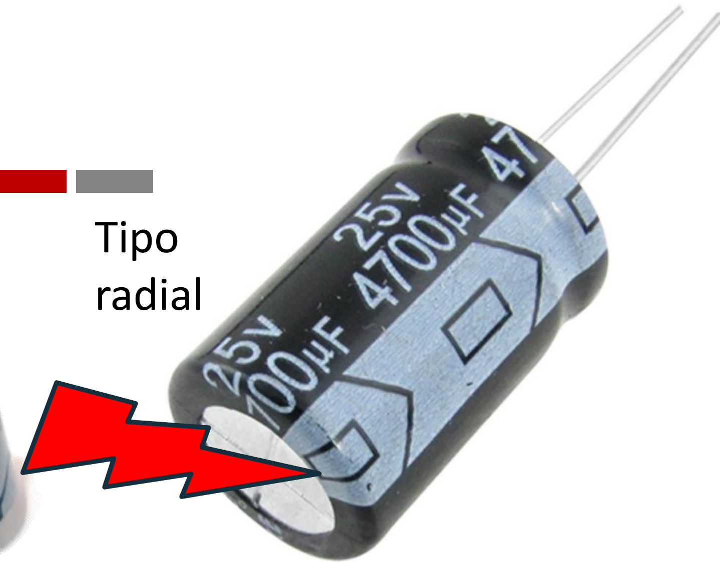




Capacitor eletrolítico

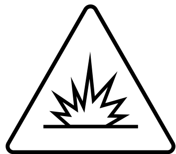








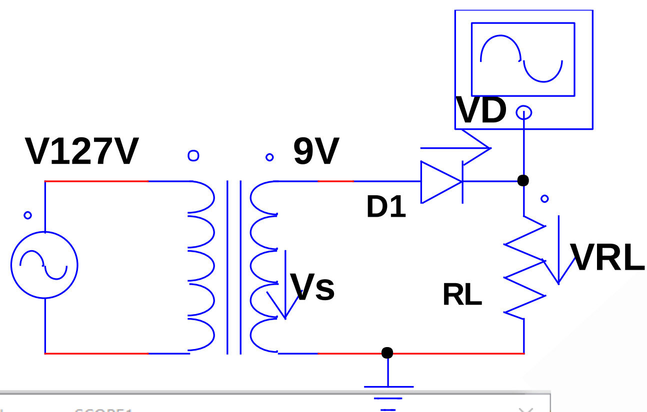
ATENÇÃO AO CONECTAR O CAPACITOR ELETROLÍTICO – a inversão na ligação dos terminais causa reação química➔ geração de gases ➔ estufa ➔ explosão

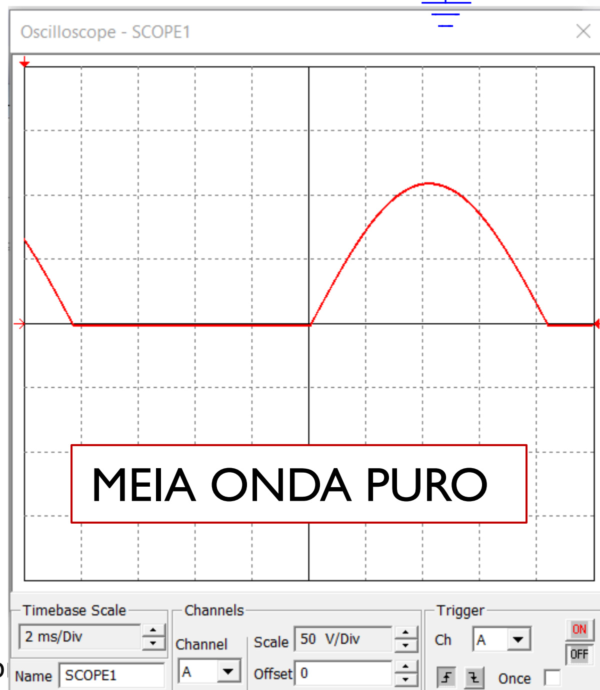


- Encontrados em elevadas capacitâncias
- Reação química➔ capacitância varia com o tempo
- Medida da capacitância com MD apresenta variação com o valor comercial
- Tensão entre placas deve ser compatível com a do circuito. Tensões inferiores ao do circuito irão causar fuga e se muito acima da nominal irá causar a redução da vida útil.

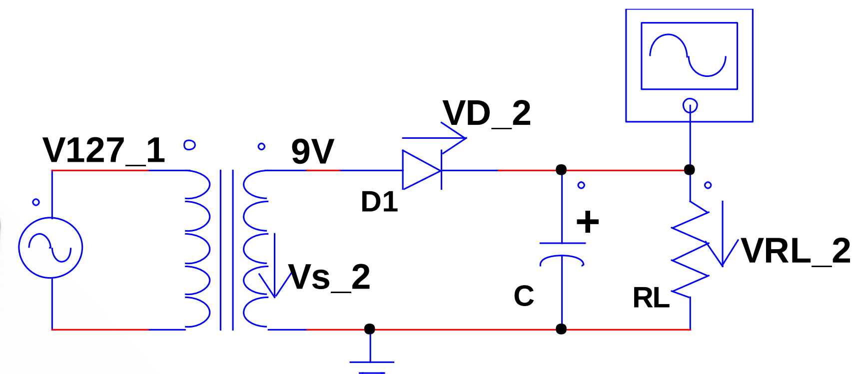
Presença do filtro no circuito retificador

Proporciona uma redução na variação da tensão média na carga;
Aumenta o nível médio da tensão na carga.











Fo

Forma de onda após o filtro capacitivo: tensão de ondulação & ripple

Tensão de ondulação (Vr) ou tensão de ripple: desvio da tensão na carga a partir do seu valor médio.

Indica o grau de pureza de uma CC.

No caso de uma CC pura, o *ripple* é zero.



$$r = \frac{tensão\ ripple(rms)}{tensão\ dc} 100\%$$

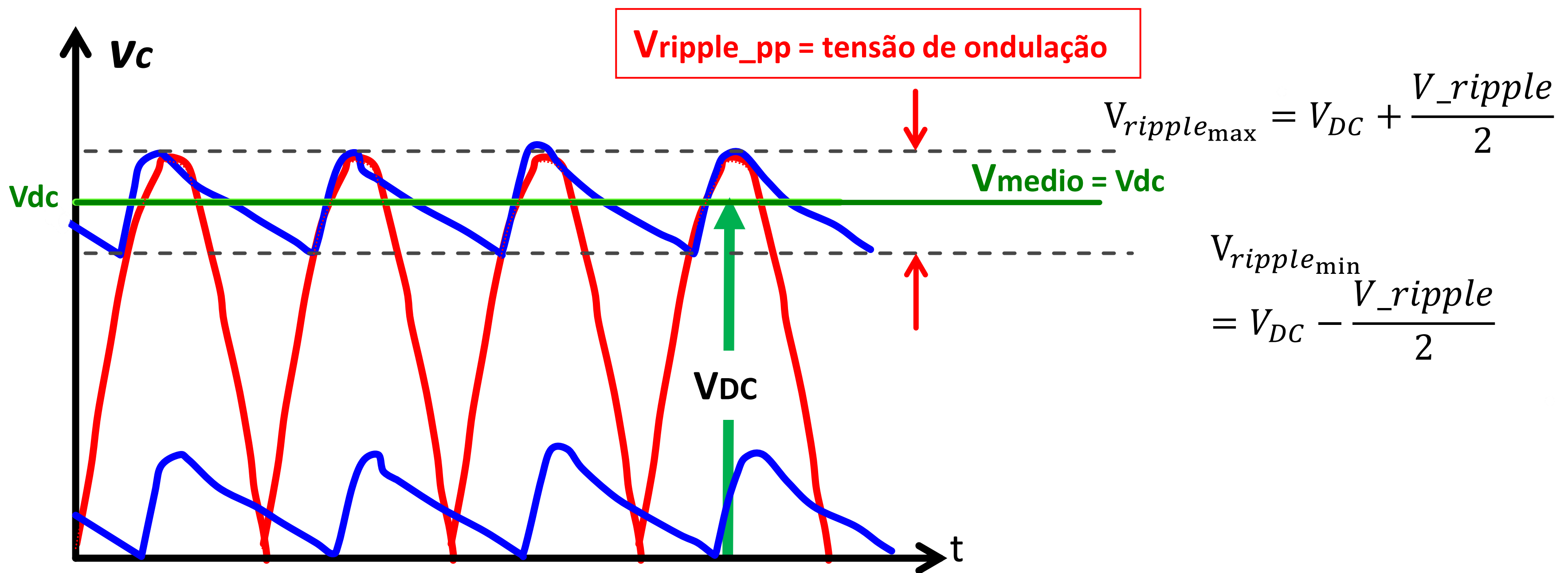
$$r(\%) = \frac{V_{r\,rms}}{V_{dc}} 100\%$$

Onde:

Vr (rms) = valor eficaz da tensão de ondulação (V)

V_{dc}= valor médio da tensão (V)

Forma de onda após o filtro capacitivo: tensão de ondulação & ripple



$$r = \frac{V_{r\,rms}}{V_{dc}}$$

Onde:
Vr rms = valor eficaz da tensão de ondulação (V)
V_{dc}= valor médio da tensão (V)

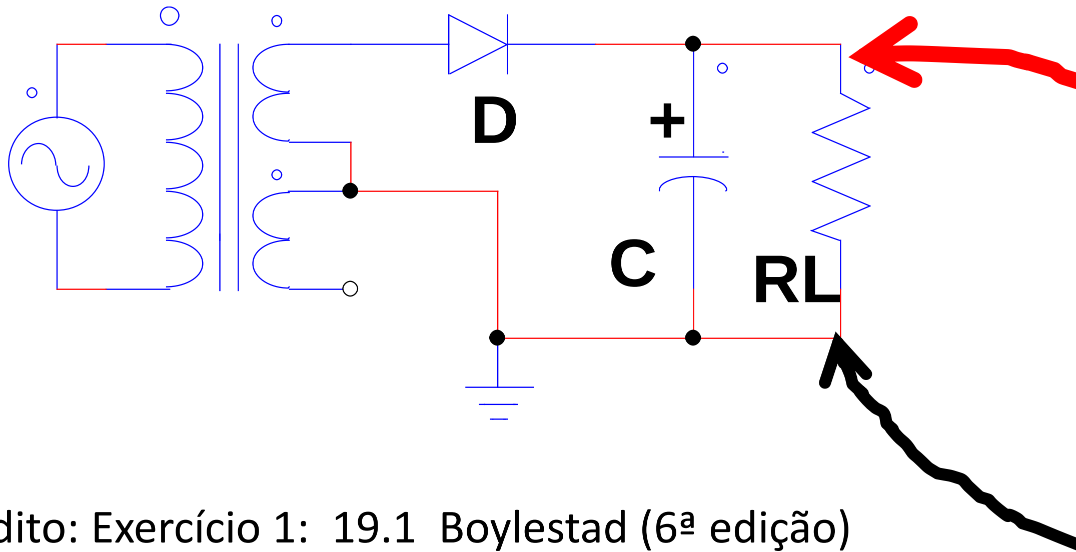
Como medir o riplle com MD true rms

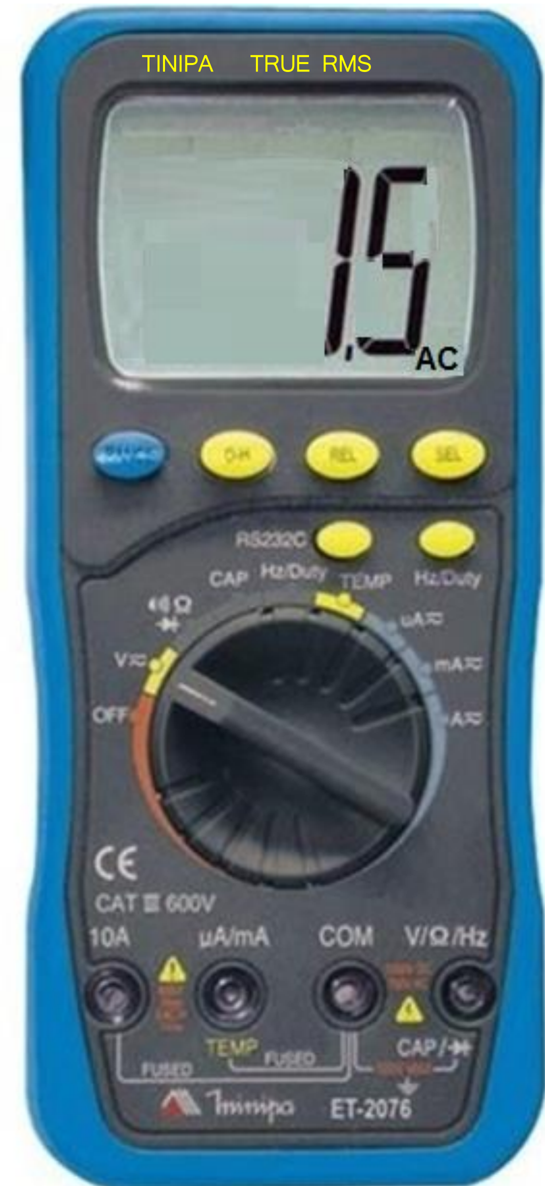
Utilizando um MD true rms DC e AC para medir o sinal de saída de um filtro, obtemos as leituras de 25 V_{DC} e 1,5 V_{rms}. Calcule o (fator de) ripple da tensão de saída.

$$r(\%) = \frac{V_{r\,rms}}{V_{dc}} 100$$

$$V_{r\,rms} = 1{,}5V \quad V_{dc} = 25V$$

$$r(\%) = \frac{1{,}5}{25} 100 = 6\%$$





Crédito: Exercício 1: 19.1 Boylestad (6ª edição)

Cálculo aproximado do capacitor

Para realizar este cálculo, iremos adotar o livro: David, MALVINO, Albert; B. *Eletrônica - V1*. Grupo A, 2016.
Para acessar é necessário fazer login em
https://webapp.utfpr.edu.br/bibservices/minhaBiblioteca
Localizar o livro do Malvino neste link: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580555776
O assunto está no capítulo 4 p. 105:
https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580555776/cfi/120!/4/2@100:0.00

$$V_{Rpp} = \frac{I_{CC}}{fC}$$

Regra prática
Adota-se como sendo aceitável o ripple de 10 %.

Fórmula da ondulação

Aqui está uma fórmula derivada que utilizaremos para estimar o valor de pico a pico da ondulação de qualquer filtro de entrada com capacitor:

$$V_R = \frac{I}{fC} \qquad \textbf{(4-10)}$$

onde V_R = ondulação de pico a pico
I = corrente CC na carga
f = frequência da ondulação
C = capacitância

Essa fórmula é uma aproximação, não é uma fórmula derivada exata. Podemos usá-la para estimar o valor de pico a pico da ondulação. Quando for necessária precisão maior, uma solução é usar um computador com um programa de simulação como o MultiSim.

Por exemplo, se a corrente CC na carga for de 10 mA e a capacitância for de 200 µF, a tensão de ondulação com o retificador de onda completa e um filtro de entrada com capacitor será:

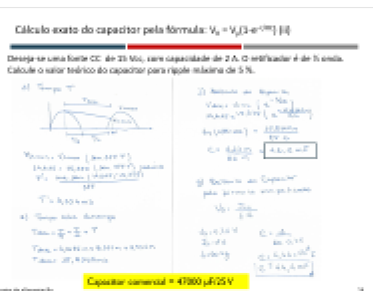
$$V_R = \frac{10\text{ mA}}{(120\text{ Hz})(200\ \mu\text{F})} = 0{,}417\text{ V pp}$$

Ao usar esta fórmula derivada, lembre-se de dois detalhes. Primeiro, a ondulação é um valor de tensão de pico a pico. Ela é útil porque normalmente medimos a tensão de ondulação com um osciloscópio. Segundo, a fórmula funciona com retificador de meia onda ou retificador de onda completa. Use 60 Hz para o retificador de meia onda e 120 Hz para o retificador de onda completa.

Você deveria usar um osciloscópio para medir a ondulação, se tiver um disponível. Do contrário, utilize um voltímetro CA, embora existirá um erro significante na indicação da medida. Muitos voltímetros CA são fabricados para indicar valores rms de uma onda senoidal. Como a ondulação não é uma onda senoidal

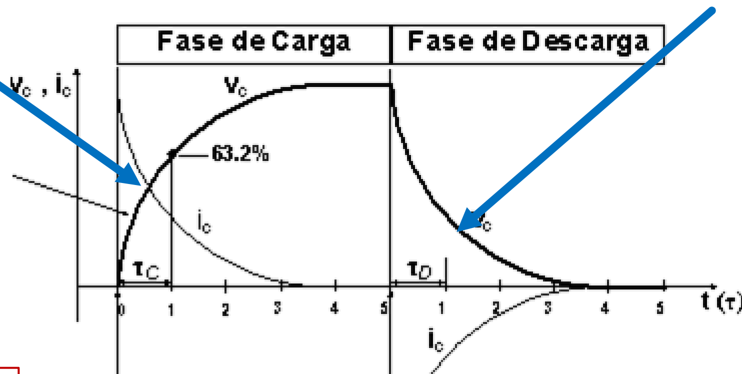
É ÚTIL SABER

Podemos usar outra fórmula mais precisa para determinar a ondulação de saída de qualquer filtro de entrada com capacitor. Ou seja:
$V_R = V_{p(out)}\,(1 - \epsilon^{-t/R_LC})$
onde t representa o período de descarga do capacitor de filtro C. Para um retificador de meia onda, t pode ser aproximadamente 16,67 ms, ao passo que para um retificador de onda completa, t vale 8,33 ms.



Cálculo exato do capacitor pela fórmula: $V_R = V_p(1-e^{-t/RC})$ (i)

Carga capacitor ➔ $Vc = Vfinal\,(1-e^{-t/RC})$ Descarga capacitor ➔ $Vc = Vinic\,(e^{-t/RC})$



Vc

MEIA ONDA

ONDA COMPLETA

$$V_{ripple_{\max}} = V_{DC} + \frac{V_ripple}{2}$$

$$V_{ripple_{\min}} = V_{DC} - \frac{V_ripple}{2}$$

t

$\frac{1}{4}T$ $\frac{1}{2}T$ T' T_{descarga}

$\frac{1}{4}T$ T' T_{descarga}

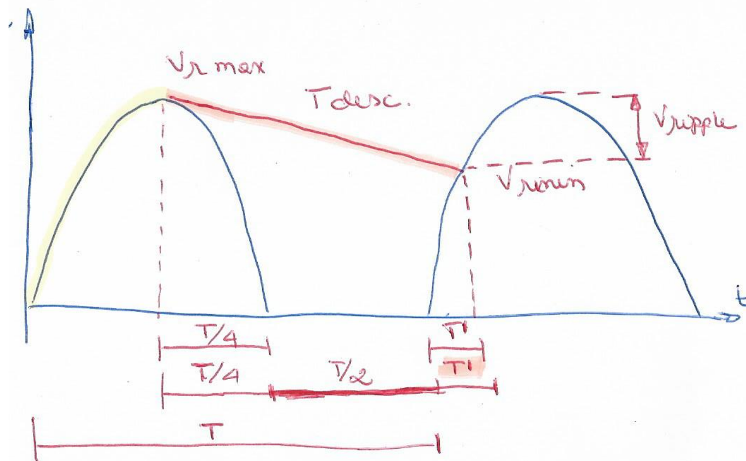
Bloco MATERIAIS DE APOIO PARA ATIVIDADES EAD –TE5
https://moodle.utfpr.edu.br/mod/book/view.php?id=1763765

Cálculo exato do capacitor pela fórmula: $V_R = V_p(1-e^{-t/RC})$ (i)

Deseja-se uma fonte CC de 15 Vcc, com capacidade de 2 A. O retificador é de ½ onda. Calcule o valor teórico do capacitor para ripple máximo de 5 %.

Carga capacitor ➔ $Vc = Vfinal\,(1-e^{-t/RC})$ Descarga capacitor ➔ $Vc = Vinic\,(e^{-t/RC})$

Análise da carga e descarga
Retificador Meio Onda



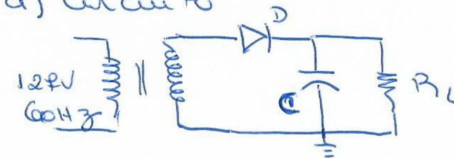
Para o tempo total de descarga (Tdesc) ser calculado é necessário obter o valor de T'. T' é calculado pela equação da senóide:

$V_i = V_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t)$

$V_{rmin} = V_{rmax}\,\mathrm{sen}(\omega T')$ ← RADIANOS

Dados: $V_{cc} = 15V$, $I_{cc} = 2A$
RMO com Ripple máximo de 5%
Determinar o capacitor.

a) Circuito



b) Carga em Ω

$$R_L = \frac{V_{cc}}{I_{cc}} = \frac{15}{2} = 7{,}5\,\Omega$$

c) Valor mínimo e máximo Vripple

$$V_{rmáx} = V_{cc} + \frac{V_{rpp}}{2}$$

$$V_{rmin} = V_{cc} - \frac{V_{rpp}}{2}$$

V_{rpp} = 5% de V_{cc} = (15)(0,05)

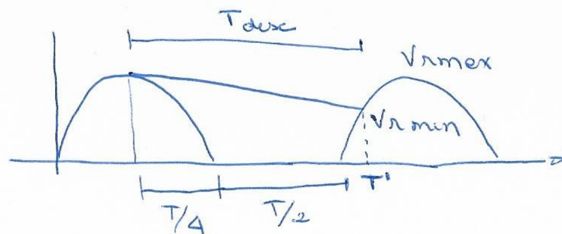
$V_{rmax} = 15 + 0{,}75/2 = 15{,}375V$

$V_{rmin} = 15 - 0{,}75/2 = 14{,}625V$

Cálculo exato do capacitor pela fórmula: $V_R = V_p(1-e^{-t/RC})$ (ii)

Deseja-se uma fonte CC de 15 Vcc, com capacidade de 2 A. O retificador é de ½ onda. Calcule o valor teórico do capacitor para ripple máximo de 5 %.

d) Tempo T'



$V_{r\,min} = V_{r\,max}\,(\text{sen } 377\,T')$

$14{,}625 = 15{,}375\,(\text{sen } 377\,T')$ radianos

$T' = \dfrac{\text{arc sen}\,(14{,}625 / 15{,}375)}{377}$

$T' = 3{,}334\ ms$

e) Tempo total descarga

$T_{desc} = \dfrac{T}{4} + \dfrac{T}{2} + T'$

$T_{desc} = 4{,}1675\,m + 8{,}335\,m + 3{,}334\,m$

$T_{desc} = 15{,}8365\ ms$

f) Cálculo do Capacitor

$V_{desc} = V_{inic}\,(e^{-t/RC})$

$14{,}625 = 15{,}375\,(e^{-\frac{15{,}8365\,m}{RC}})$

$\ln(0{,}95122) = -\dfrac{15{,}8365\,m}{7{,}5 \cdot C}$

$C = \dfrac{2{,}11\,m}{50\,m} \cong$ **42,2 mF**

g) Cálculo do Capacitor pela fórmula simplificada

$V_r = \dfrac{I_{cc}}{f \cdot C}$

$V_r = 0{,}75\ V$

$I_{cc} = 2\ A$

$f = 60\ Hz$

$C = \dfrac{2}{60 \cdot 0{,}75}$

$C = 4{,}44 \times 10^{-2}\ F$

$C \cong 44{,}4\ mF$

Capacitor comercial = 47000 μF/25 V

Exemplo 2)cálculo do capacitor do filtro

Exercício proposto

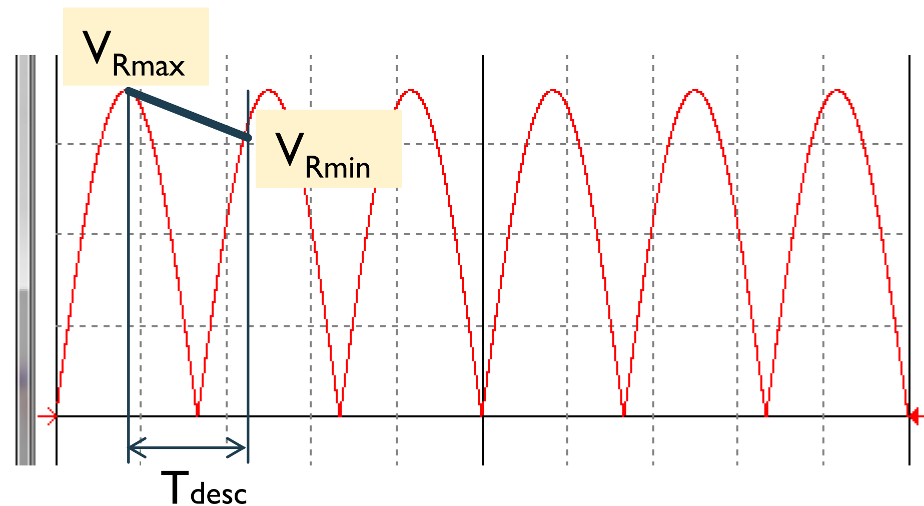
Deseja-se uma fonte CC de 50 Vcc, com capacidade de 5 A. O retificador é de onda completa. Calcule o valor exato e aproximado do capacitor para ripple máximo de 2 %.

Aproximado

$$V_{Rpp} = \frac{I_{CC}}{fC}$$

Exato

$$V_R = V_p(1 - e^{-t/RC})$$



Respostas:
Vrmin = 49,5 V   Vrmax = 50,5 V
T' = 3,64 ms
Tdesc = 7,81 ms ➔ considerar que o retificador de onda completa o período diminui, então o tempo de descarga é a soma de T/2 + T'
C_exato = 39 mF
C_aproximado = 41,6 mF
C_comercial = 47000 µF/ 63 V

Corrente *de pico* no diodo com a etapa do filtro

Somente durante a carga no capacitor, é que ocorre a passagem da corrente no diodo. Essa condução ocorre em um intervalo de tempo muito pequeno, com elevada intensidade.
Desta forma, ao especificar o diodo para operar em circuitos retificadores com a etapa de filtro, deve-se considerar esse parâmetro.

Corrente de pico no diodo

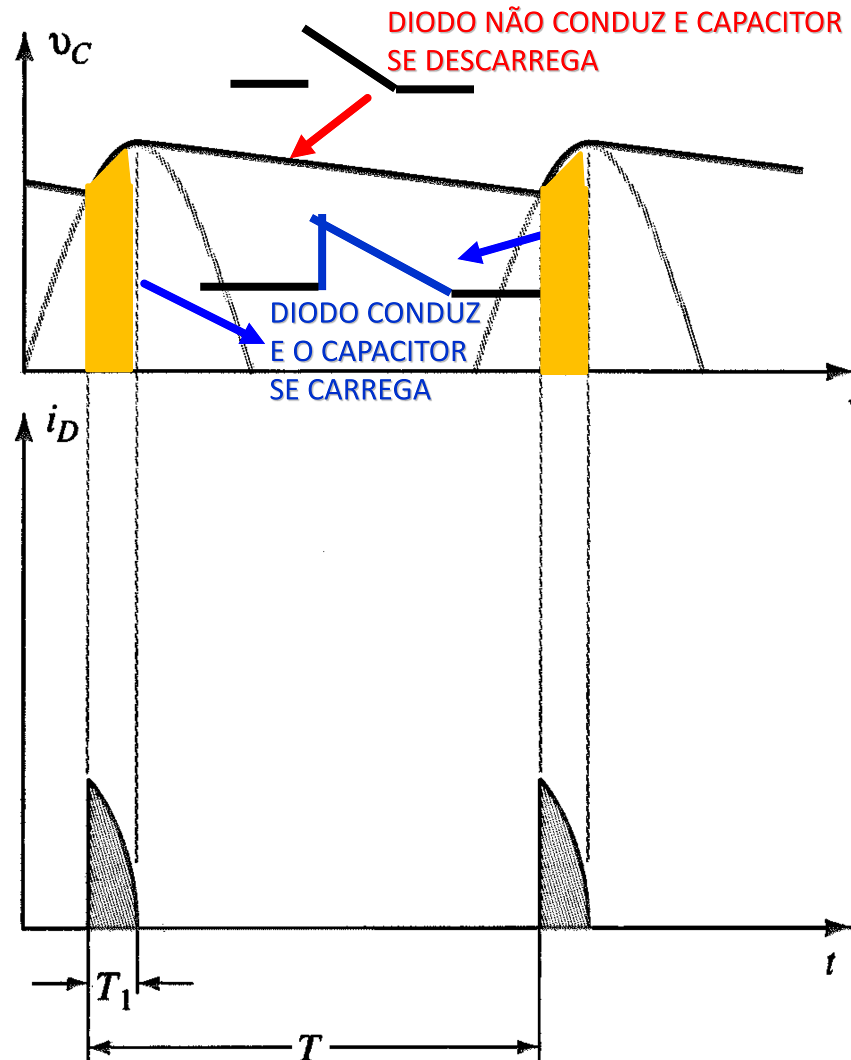
$$I_{pico_diodo} = \frac{T}{T_1} I_{dc}$$

Onde:
Idc = corrente média drenada do filtro.
Ipico = corrente de pico através do(s) diodo(s) de condução.
T1= tempo de condução do(s) diodo(s).
T=1/f
f= frequência da fonte AC.

Quanto maior for o capacitor de filtro, maior é o nível da tensão 'DC', menor o ripple, porém maior é a corrente de pico no(s) diodo(s).

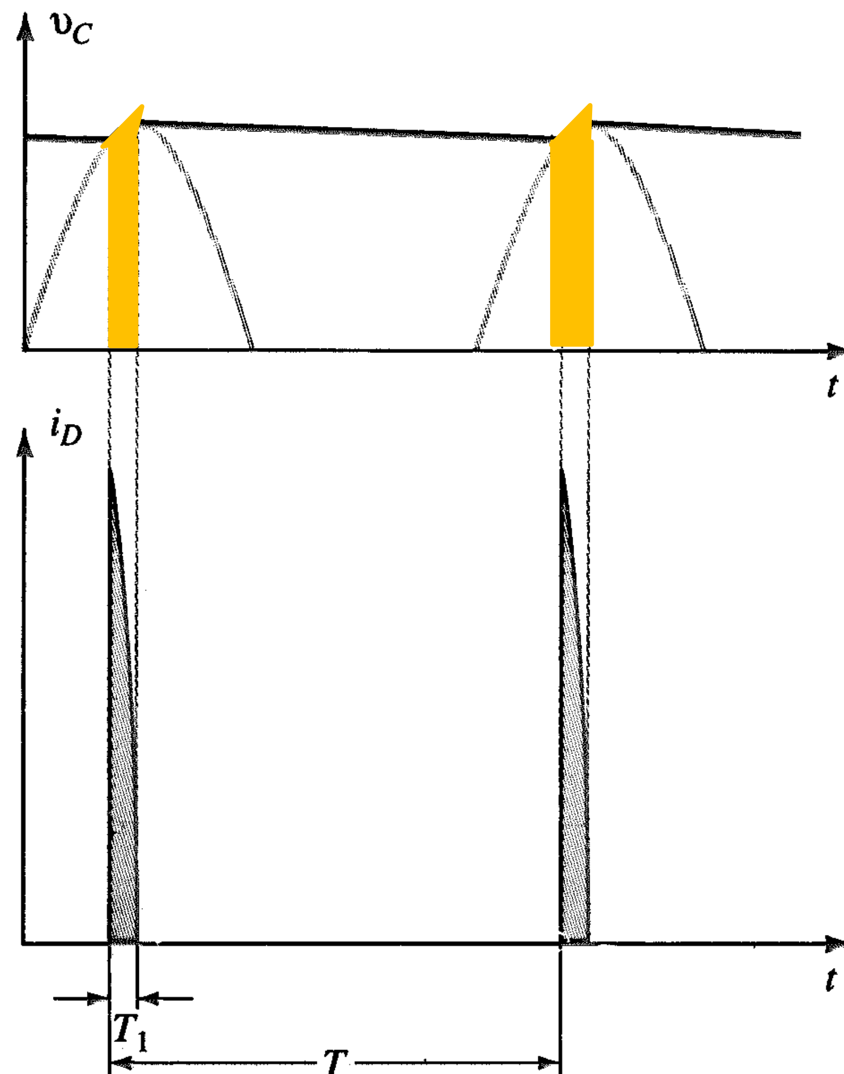
Corrente *de pico* no diodo com a etapa do filtro

a)Capacitor do filtro com baixa capacitância



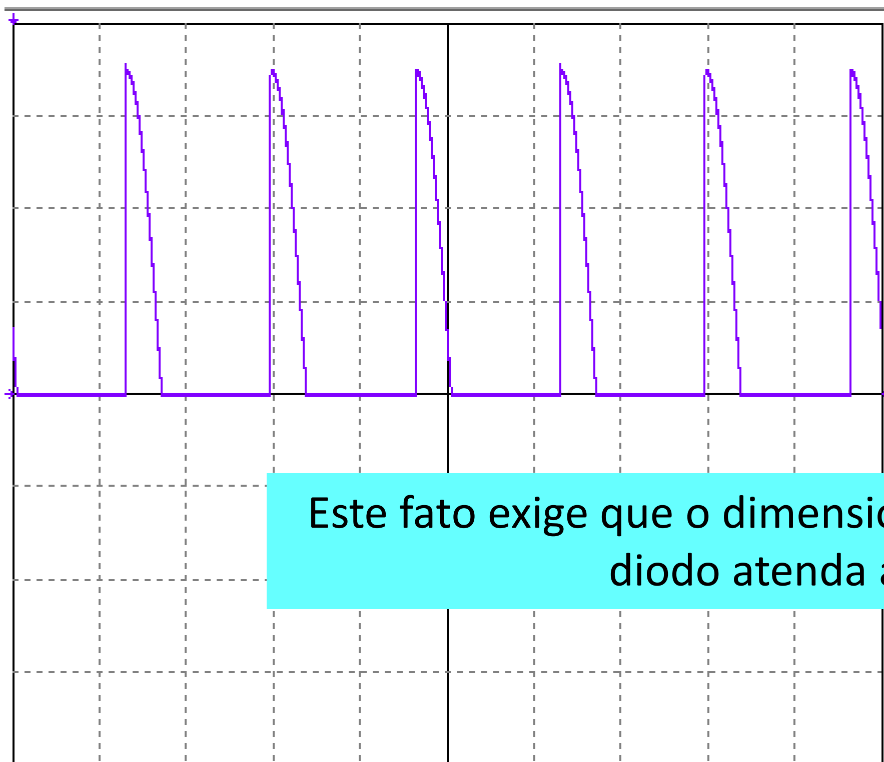
Corrente no diodo para um baixo valor de capacitância

b)Capacitor do filtro com elevada capacitância

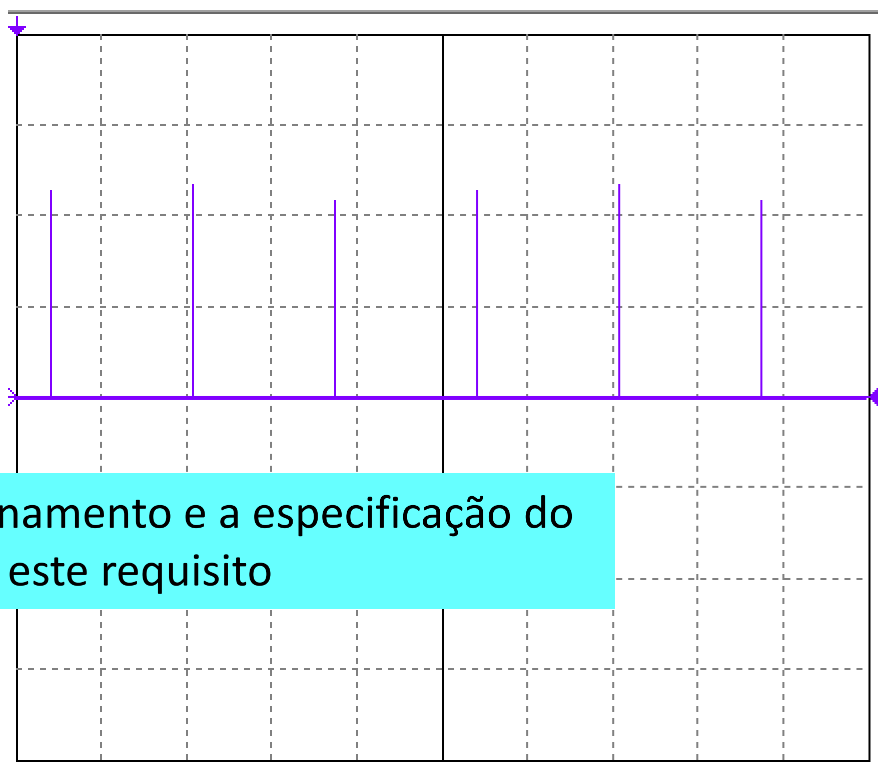


Forma de onda CORRENTE DIODO COM FILTRO.

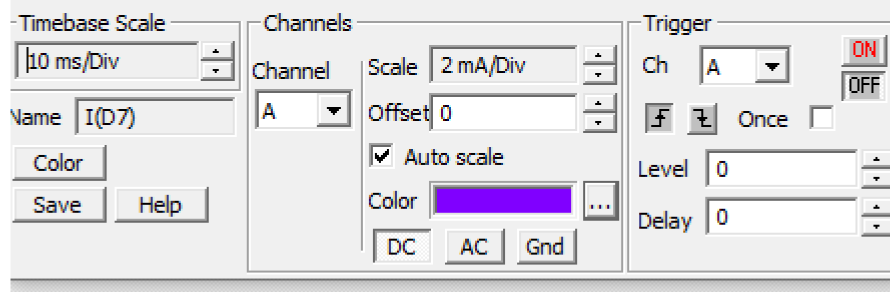
Corrente diodo C = 1 uF

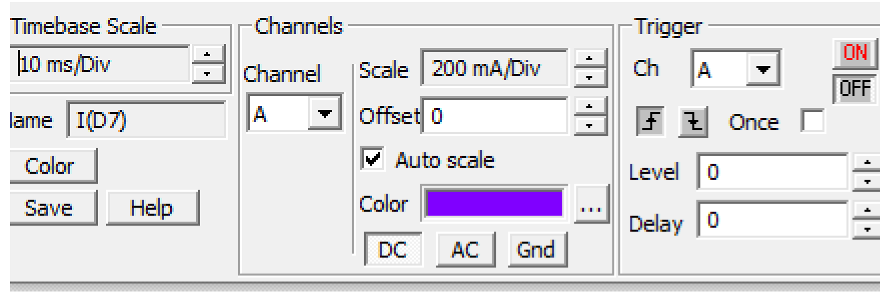


Corrente diodo C = 1000 uF



Este fato exige que o dimensionamento e a especificação do diodo atenda a este requisito





Corrente de pico diodo família 1n5400 & parâmetro no datasheet

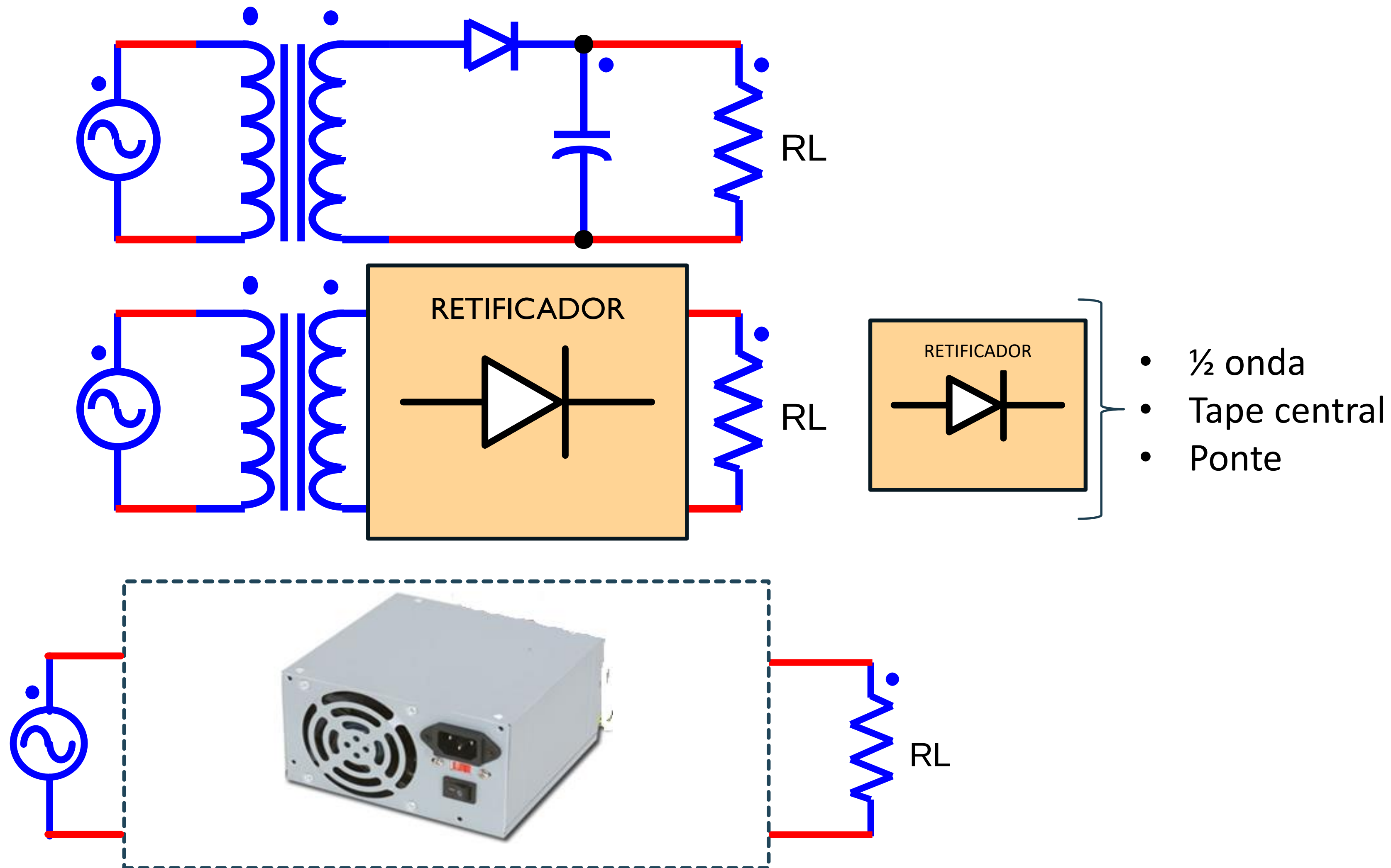
MAXIMUM RATINGS (T_A = 25 °C unless otherwise noted)											
PARAMETER	**SYMBOL**	**1N5400**	**1N5401**	**1N5402**	**1N5403**	**1N5404**	**1N5405**	**1N5406**	**1N5407**	**1N5408**	**UNIT**
Maximum repetitive peak reverse voltage	V_{RRM}	50	100	200	300	400	500	600	800	1000	V
Maximum RMS voltage	V_{RMS}	35	70	140	210	280	350	420	560	700	V
Maximum DC blocking voltage	V_{DC}	50	100	200	300	400	500	600	800	1000	V
Maximum average forward rectified current 0.5" (12.5 mm) lead length at T_L = 105 °C	$I_{F(AV)}$	3.0									A
Peak forward surge current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load	I_{FSM}	200									A
Maximum full load reverse current, full cycle average 0.5" (12.5 mm) lead length at T_L = 105 °C	$I_{R(AV)}$	500									μA
Operating junction and storage temperature range	T_J, T_{STG}	- 50 to + 150									°C

https://www.vishay.com/docs/88867/anfundamental.pdf

I_{FSM} Peak forward surge current, with a specified current waveform (normally 10 ms/50 Hz half sine wave, sometimes 8.3 ms/60 Hz half sine wave)

Pico de corrente de surto de avanço, com uma forma de onda de corrente especificada (normalmente 10 ms/50 Hz meia onda senoidal, às vezes 8,3 ms/60 Hz meia onda senoidal)

Composição de uma fonte de alimentação sem estabilização,



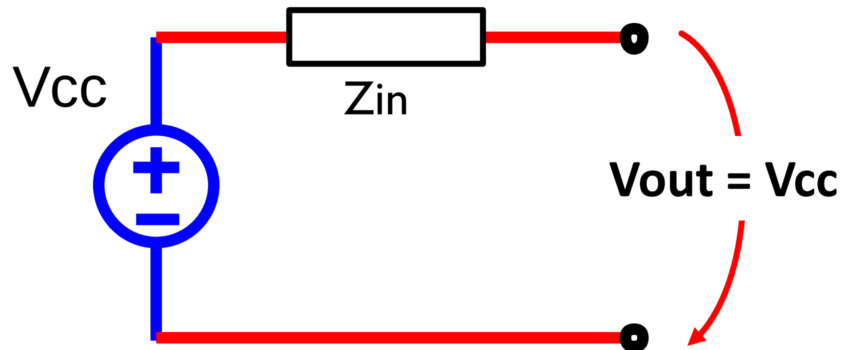
- ½ onda
- Tape central
- Ponte

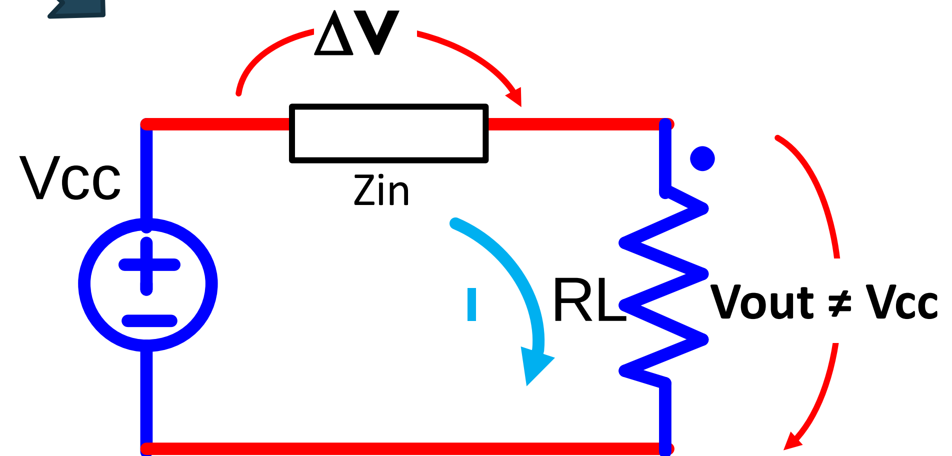
Estrutura retificadora **sem** carga x **com** carga



SEM CARGA

COM CARGA → RL





Não há corrente circulando! Portanto não há queda de tensão na Zin.
Então Vcc = Vout.

Vout = VRL= Vcc- ΔV
Vout = VRL= Vcc- I.Zin

$$Regulação(\%) = \frac{tensão\ sem\ carga - tensão\ plena\ carga}{tensão\ plena\ carga} .100$$

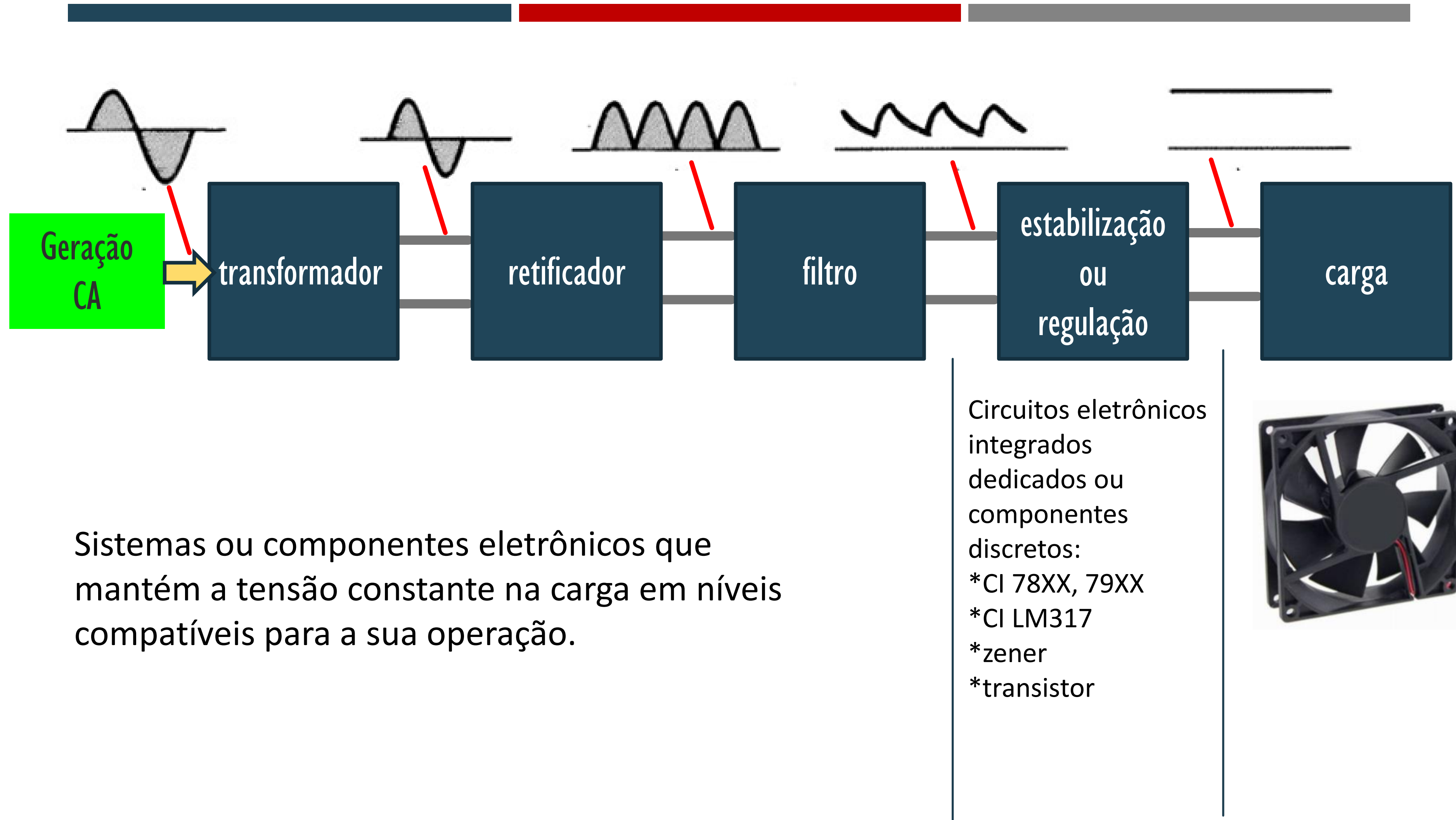
Fonte de alimentação sem estabilização

A fonte fixa de 15 V, TBY proposta é viável para alimentar o cooler de 5 V/2 W?



Resposta: não.
Os níveis de tensão são incompatíveis.

Etapa da estabilização ou regulação



Sistemas ou componentes eletrônicos que mantém a tensão constante na carga em níveis compatíveis para a sua operação.

Circuitos eletrônicos integrados dedicados ou componentes discretos:
*CI 78XX, 79XX
*CI LM317
*zener
*transistor

BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. Prentice-Hall do Brasil, 1998, 6ª edição, Capítulo 19.

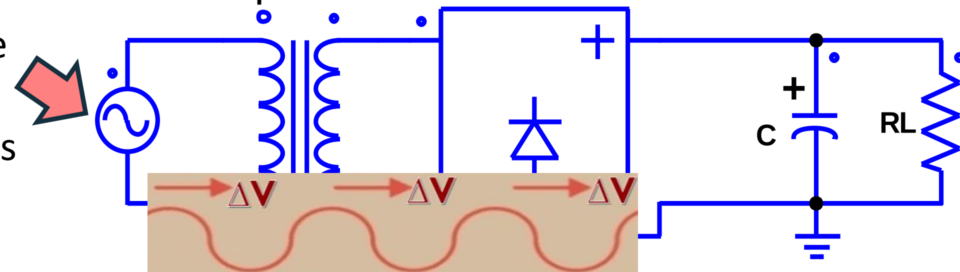
Fatores que influenciam no nível da tensão de saída de uma fonte de alimentação

a) Variação de carga: a tensão V_{Out} apresenta um valor máximo quando a saída está em aberto (I_L=0). Quando a saída é carregada, a medida em que I_L aumenta há uma queda proporcional de V_{out}.
Independentemente da carga que a fonte alimente (cooler, Arduino, Raspberry) a necessidade de manter a saída no valor de projeto.

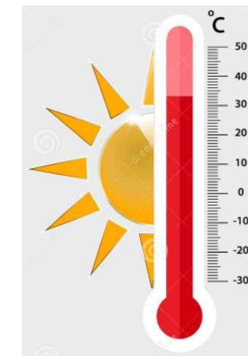


Créditos: https://www.tecnoferramentas.com.br/fonte-de-alimentacao-dc-do-modo-de-alternancia-de-600-w-120-v-extech-382275-500031/p

b) Variação de linha: na grande maioria das aplicações, a fonte CC é alimentada por uma fonte CA através de uma ponte retificadora e um filtro. A tensão de linha, fornecida pela concessionária de energia elétrica varia em torno de 10 % de seu valor eficaz, em função da demanda. Consequentemente, a tensão CC de saída variará nas mesmas proporções.



c) Variação da temperatura: mudanças de temperatura provocam alterações físicas nos componentes eletroeletrônicos, principalmente nos semicondutores, alterando seu comportamento e acarretando em variações do comportamento das fontes.



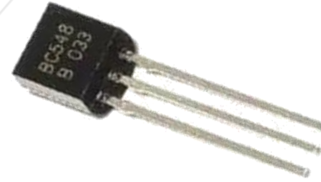
Leitura p. 3 a 5 da apostila disponível Repositório da Disciplina em https://moodle.utfpr.edu.br/mod/url/view.php?id=910125

Tipos de Regulação ou Estabilização

COMPONENTES DISCRETOS: o diodo zener é o componente que frequentemente é empregado. Pode ser associado com transistores.



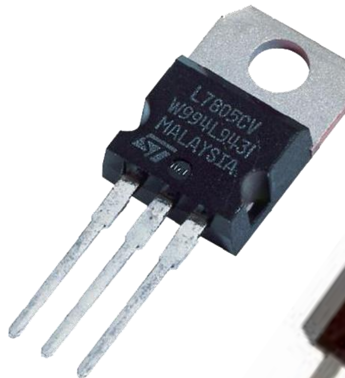
ZENER



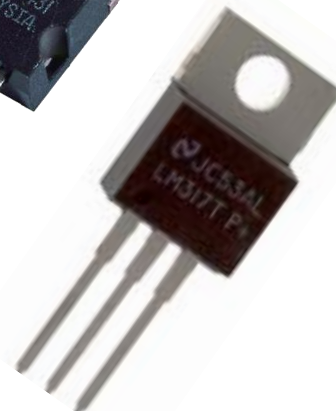
TRANSISTOR

CIRCUITOS INTEGRADOS REGULADORES: os componentes são internos e são embutidos em um encapsulamento em que se tem acesso aos terminais que possuem finalidade específica.
São limitados pela corrente, que normalmente é de 1- 1,5 A.

SAÍDA FIXA: 78 XX , 79 XX

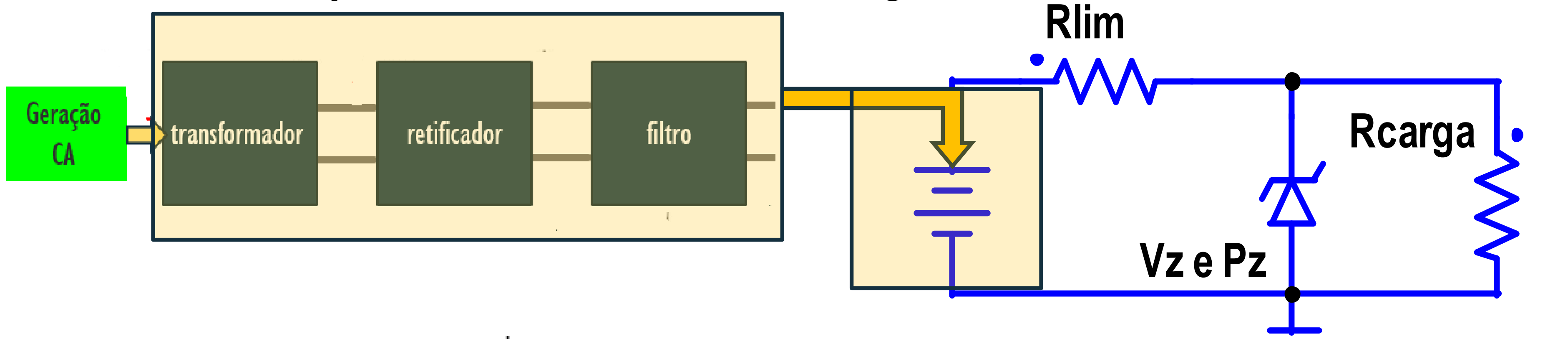


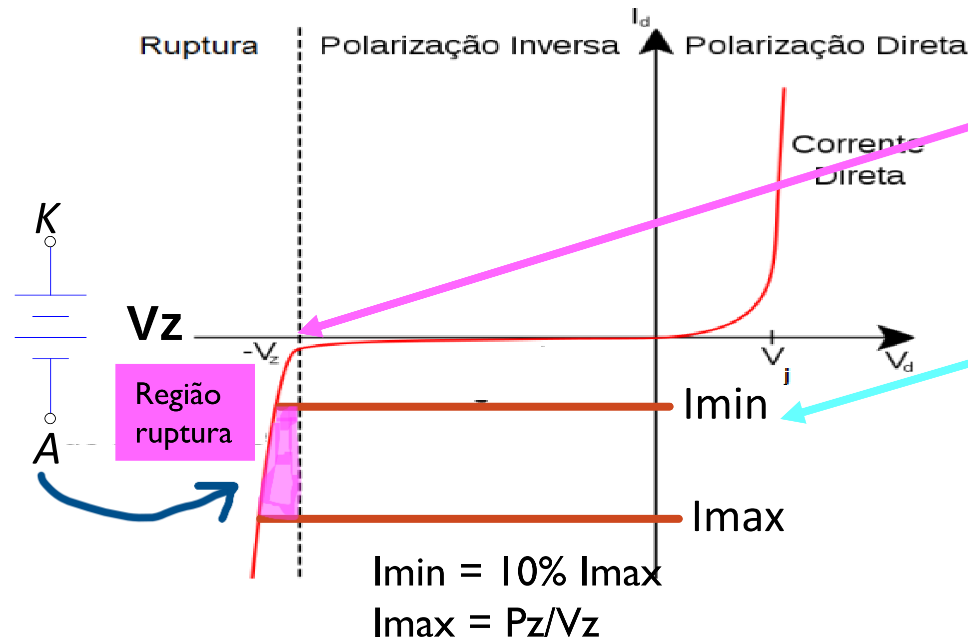
SAÍDA variável: LM 317, LM 337



Regulação a Zener (discreta)

1-Diodo Zener: diodo reversamente polarizado em conjunto com um resistor série para absorver as diferenças de tensão entre a fonte e a carga.





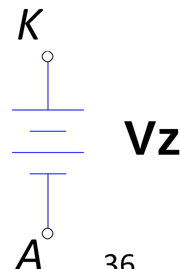
Zener reversamente polarizado submetido a tensão de operação (V_{AK}) superior a tensão de zener (Vz).

$V_{AK} > Vz$

+

Corrente mínima de operação circular pelo zener.

Funciona como uma fonte de tensão de módulo Vz.

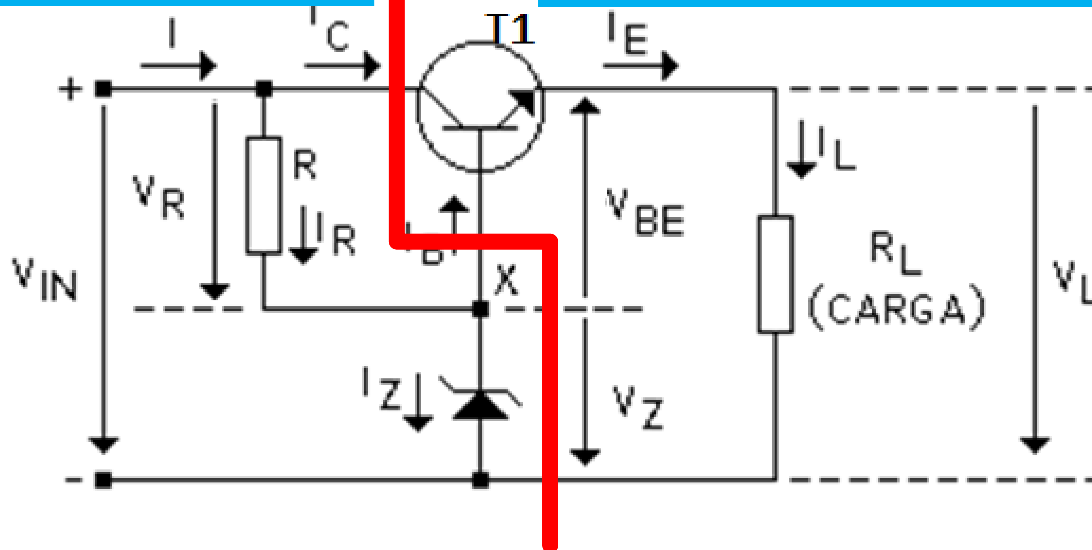


Regulação a transistor de junção bipolar (TBJ) em série (discreta)

Regulador com transistor série: O zener tende MANTER A REGULAÇÃO da tensão, enquanto que o transistor T1 controla a corrente suprida à carga. A tensão na saída é a tensão regulada do zener menos a queda de tensão na base–emissor (V_{BE}) do T1.

CIRCUITO PRÉ REGULADOR

CIRCUITO REGULADOR



Funcionamento básico:

1)Se a tensão de saída V_L diminui, a tensão base-emissor (V_{BE}) aumenta, fazendo com que o transistor conduza mais e, dessa forma aumenta a tensão de saída. ($V_L = V_Z - V_{BE}$)

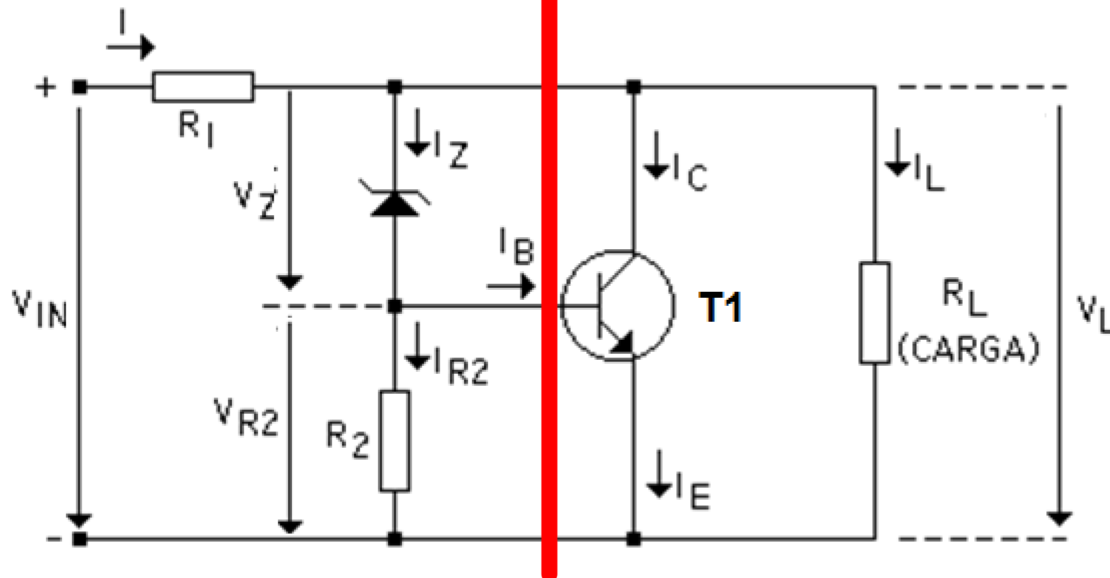
2)Se a tensão de saída aumenta, a tensão base-emissor (V_{BE}) diminui e o transistor conduz menos, reduzindo a tensão de saída.

Regulação a transistor de junção bipolar (TBJ) em paralelo

5-Regulador com transistor paralelo: Segue o princípio do regulador com transistor série , porém em paralelo com a carga.

CIRCUITO PRÉ REGULADOR

CIRCUITO REGULADOR



Funcionamento básico:

1)Se a resistência de carga diminui, menos corrente circula no terminal de coletor (Ic) do T1, assim mais corrente circula na carga, mantendo a tensão constante.

2)Se a resistência de carga aumenta, mais corrente circula por T1, assim diminui a corrente na carga, mantendo a tensão constante.

Regulação com CI 78XX e 79XX (monolítico)

Regulador monolítico 78XX e 79XX: fornecem tensão de saída fixa indicada pelos dois últimos dígitos indicativos da sua especificação, sendo que a

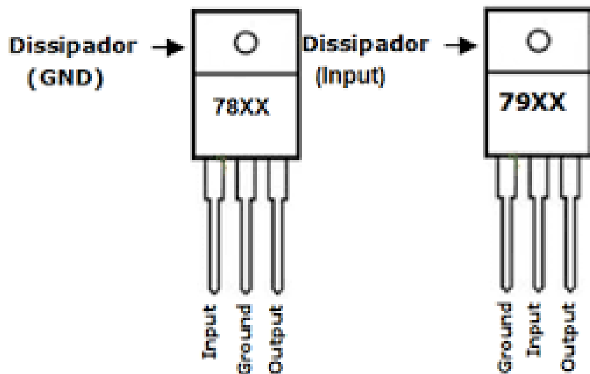
*série 78XX➔ fornece tensões de saída positivas (Ex:LM7812 ➔+12 V)

*série 79XX➔ tensões negativas (Ex:LM7905 ➔ -5 V).

Apresentam ótima regulação, possuem limitador de corrente e proteção contra curto-circuito e desligamento por sobreaquecimento.

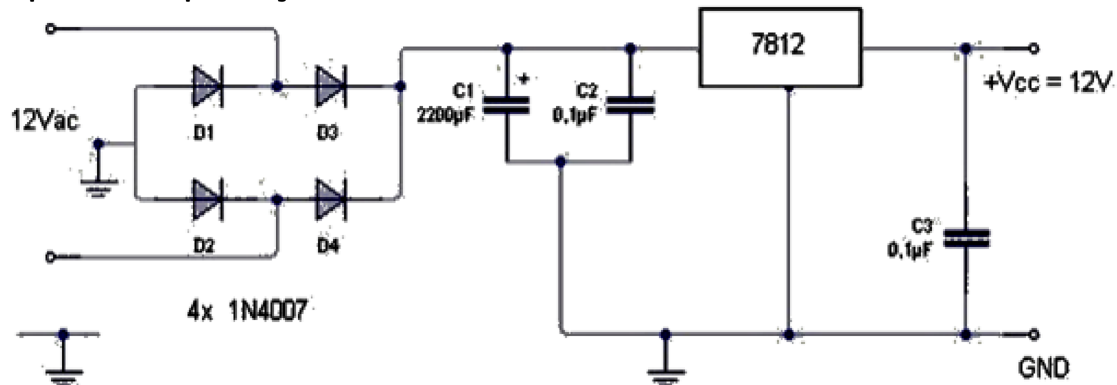
A máxima corrente de saída é limitada em 1A.

Pinagem:



Créditos: http://eletronica24h.net.br/aulaen09--.html

Exemplo de aplicação:



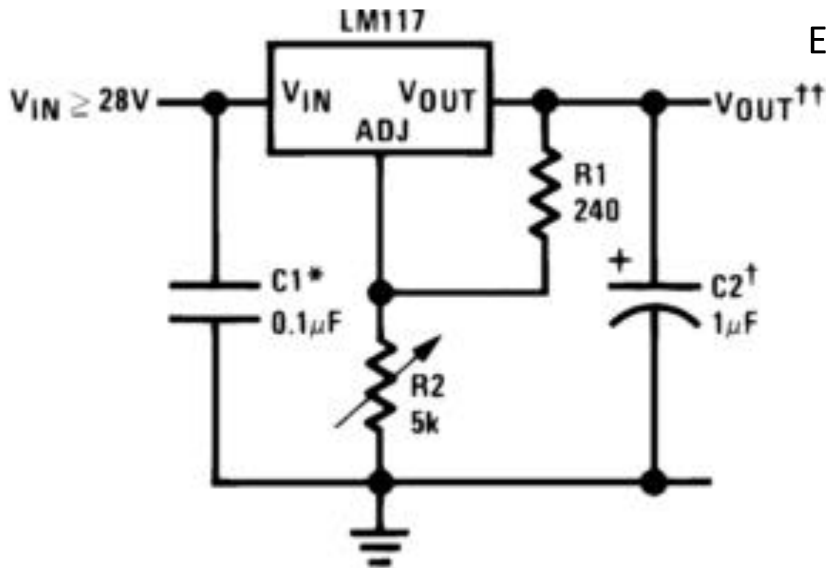
C1: capacitor eletrolítico (filtro)

C2 e C3: poliéster metalizado (ruídos)

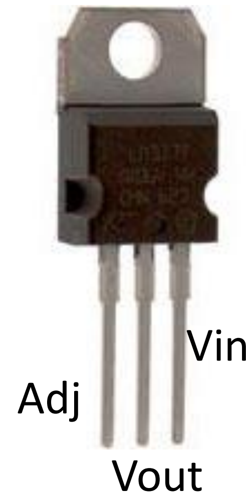
Tipo de encapsulamento: TO

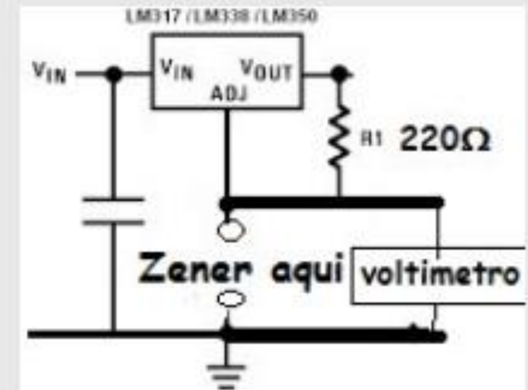
Regulação com LM 317 (monolítico)

Regulador monolítico LM317: permite que a tensão de saída possa ser ajustada em um valor entre 1,2 V a 39 V, de acordo com o ajuste das resistências R1 e R2.



Encapsulamento: TO





Modificação para o circuito identificador da tensão se Zener

https://www.paulobrites.com.br/como-descobrir-tensao-de-um-diodo-zener/

$$Vout = 1{,}25(1 + \frac{R2}{R1}) + (Iadj).R2$$

$$Iadj = 100\ \mu A$$

Resumo dos sistemas de regulação

REGULAÇÃO	TIPO	PRINCÍPIO OPERAÇÃO
78 XX	Circuito integrado	XX indica a tensão CC positiva que a ser mantida constante. Limite da corrente a 1 A. Ex. 7805= 5 V
79 XX	Circuito integrado	XX indica a tensão CC NEGATIVA a ser mantida constante. Limite em 1 A. Ex. 7912 = -12 V. A tensão de entrada deve ser negativa para a saída negativa.
LM 317	Circuito integrado	Em conjunto com resistores apropriados permite ajusta da tensão entre 1, 25 V a 37 V. Imáx 1,5 A.
ZENER	Componente discreto	Tipo de diodo especial para operar na região de ruptura, onde a tensão A-K é mantida praticamente constante. Restrição a pequenas intensidades de corrente.
ZENER + TJB	Arranjo com os componentes	O zener integra um pré-regulador que fornece ao TJB a referência de controle. Esta composição permite níveis maiores de corrente.

Exercícios: créditos Boylestad, cap 2, 6ª ed.

EXEMPLO 2.18

(a) Esboce a saída v_o e determine o nível dc de saída para o circuito da Fig. 2.48. (b) Repita o item (a) para o caso em que o diodo ideal é substituído por um diodo de silício. (c) Repita os itens (a) e (b) para V_m = 200 V, e compare as soluções, utilizando as Eqs. (2.7) e (2.8).

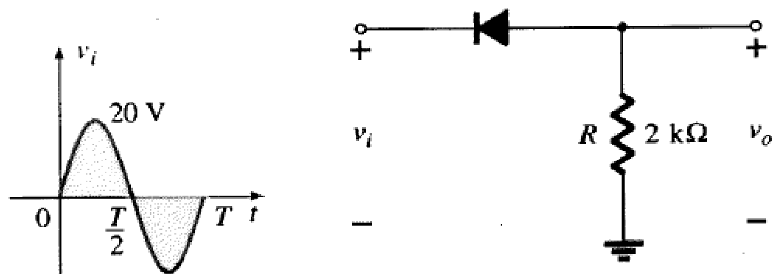
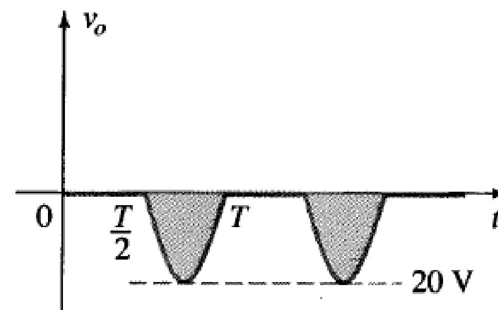


Fig. 2.48 Circuito do Exemplo 2.18.

Respostas 2.18)

a) Vdc=-6,36V

b) Vdc= -6,14 V



c) Vdc= -63,6 V (ideal)
= -63,38 V (modelo simplificado)

28. Um retificador em ponte de onda completa com uma entrada senoidal de 120 V rms possui um resistor de carga de 1 kΩ.

(a) Se diodos de silício são empregados, qual é a tensão dc disponível na carga?
(b) Determine a TPI nominal de cada diodo.
(c) Ache a corrente máxima através de cada diodo durante a condução.
(d) Qual é a potência nominal exigida para cada diodo?

Respostas ex. 28:

a) 107,04 V
b) TPI >=170 V
c) $Imax_{diodo}$=168,3 mA
d) Pdiodo=74,7 mW

Exercícios: créditos Boylestad, cap 2, 6ª ed.

22. Considerando o diodo ideal, esboce v_i, v_d e i_d para o retificador de meia-onda da Fig. 2.148. A entrada é uma forma de onda senoidal com uma freqüência de 60 Hz.

***23.** Repita o Problema 22 com um diodo de silício ($V_T = 0{,}7$ V).

***24.** Repita o Problema 22 com uma carga de 6,8 kΩ aplicada como mostra a Fig. 2.149. Esboce v_L e i_L.

25. Para o circuito da Fig. 2.150, esboce v_o e determine V_{dc}.

***31.** Esboce v_o para o circuito da Fig. 2.155 e determine a tensão dc disponível.

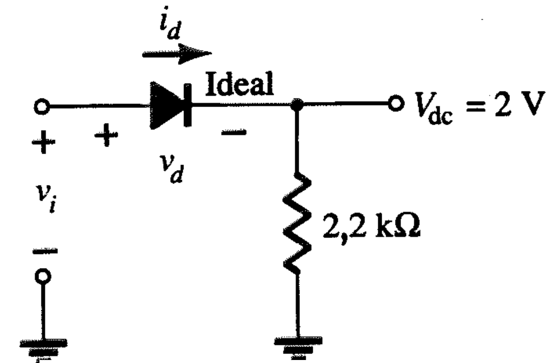


Fig. 2.148 Problemas 22, 23.

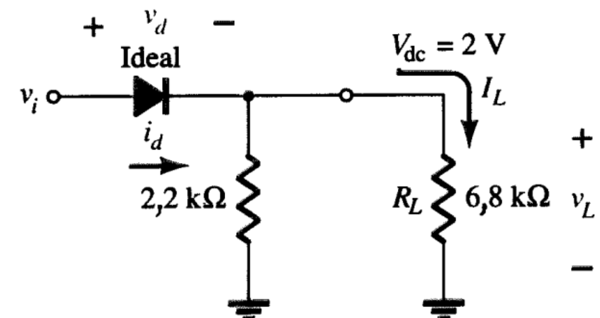


Fig. 2.149 Problema 24.

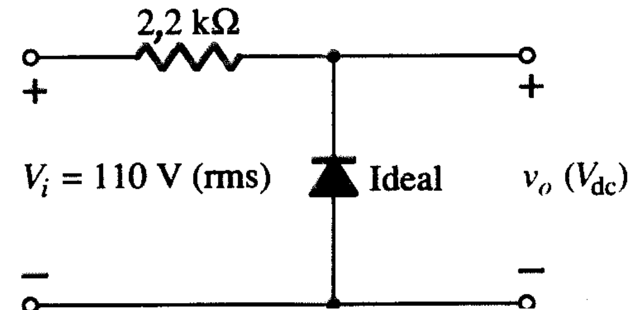
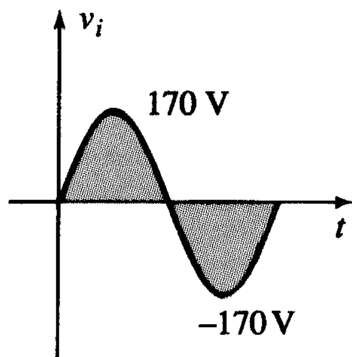


Fig. 2.150 Problema 25.



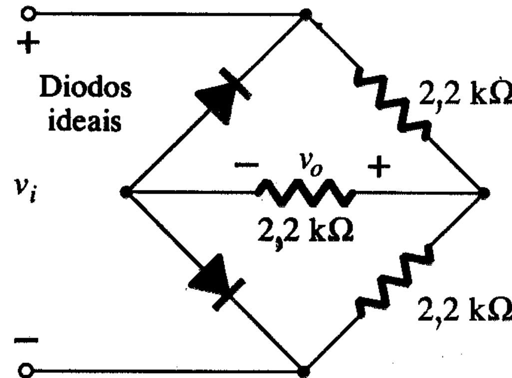


Fig. 2.155 Problema 31.

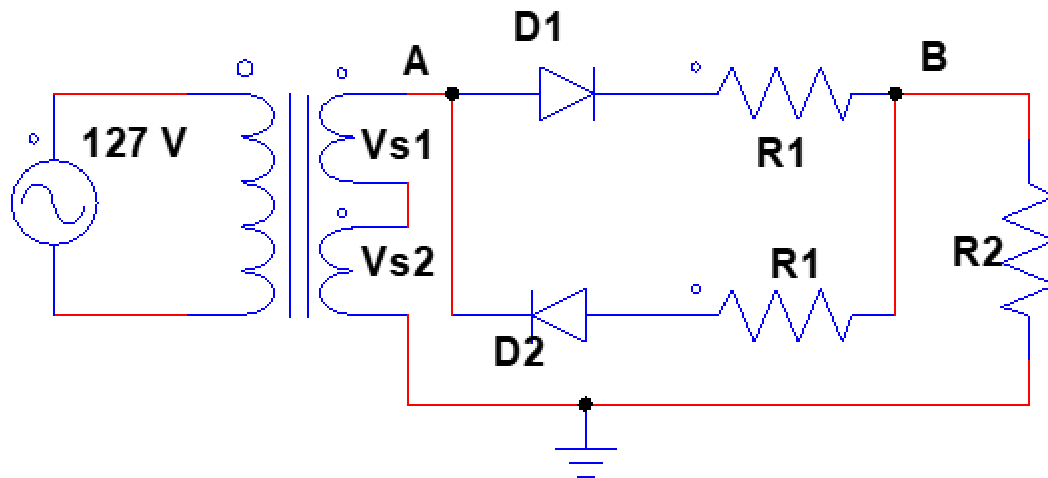
23) 6,98 V, id=2,85 mA

25) Vp=155,56 V, VDC=49,47 V

31) Vp=56,67 V, VDC=36,04 V

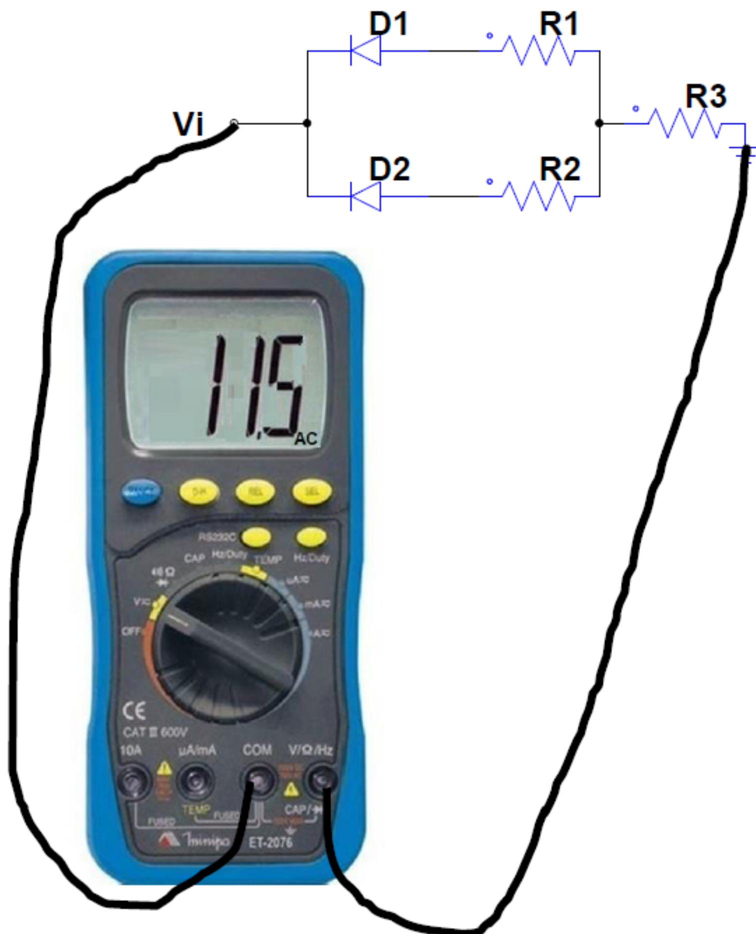
Exercício

Qual é o valor da tensão medida em R2 por um multímetro digital selecionado na escala VCC? Admitir diodo ideal. Vs1 = Vs2 = 9 V, R1 = 2.R2



Exercício 3:

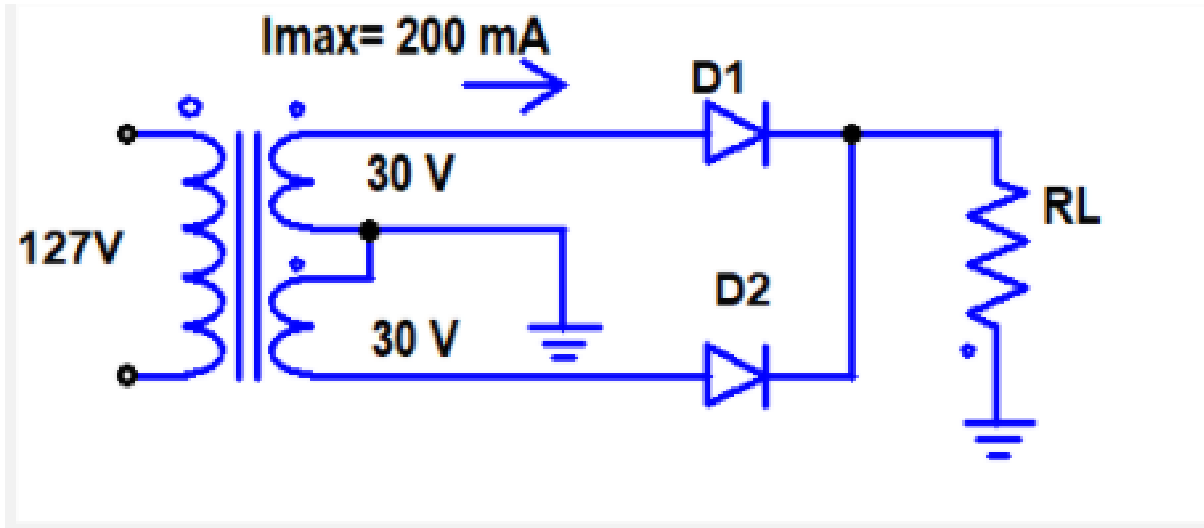
Determine o valor médio da tensão em R3 e esboce e a respectiva forma de onda. Admitir que: o MD indica 11,5 V na escala AC e que os resistores são iguais a 1,2 kΩ, os diodos são idênticos. Usar o modelo simplificado para o diodo com Vj=0,75 V.





Resposta:
-3,29 V

4-Qual dos diodos a seguir é o deve ser usado no circuito?



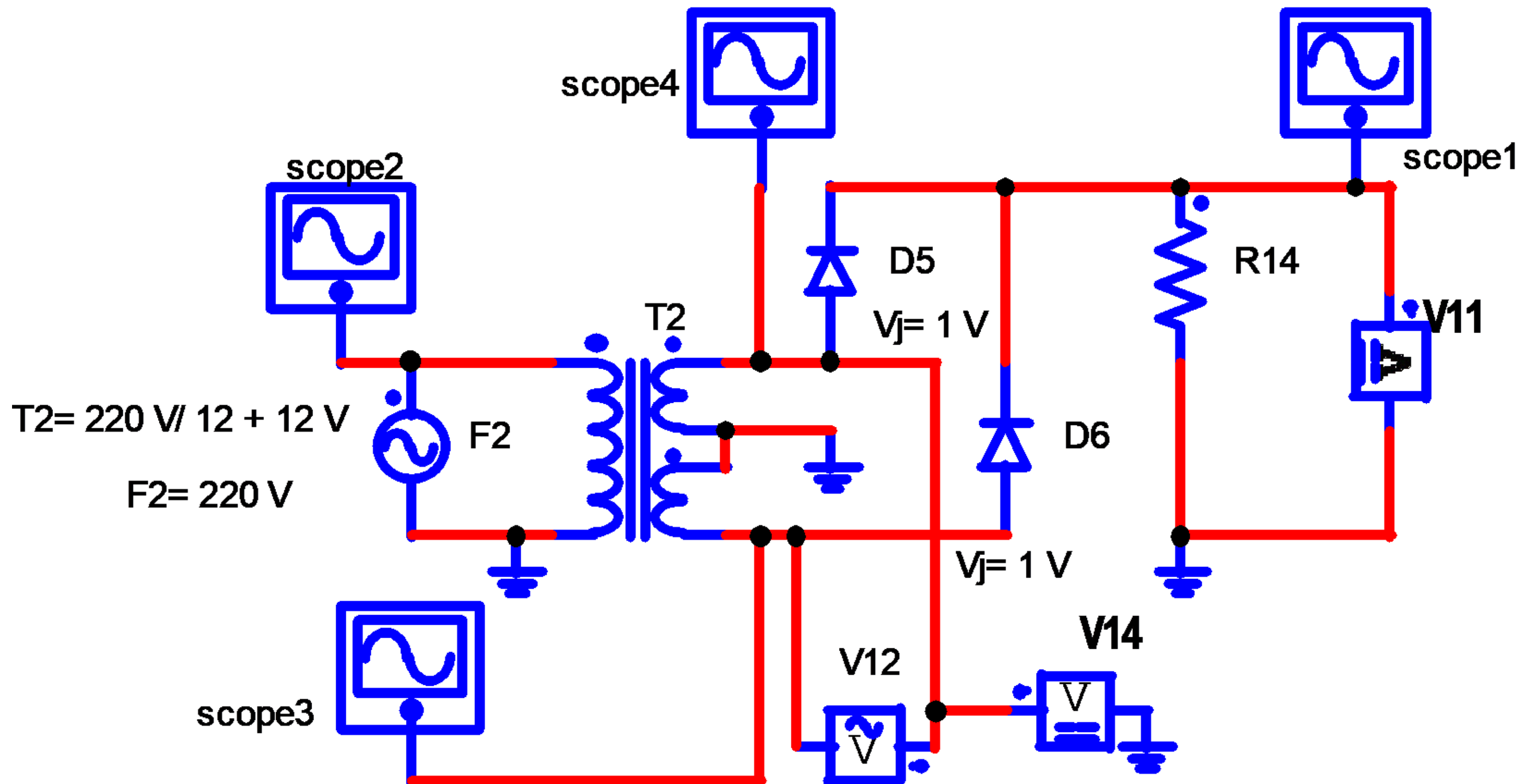
a) 1N4148
b) 1N914
c) 1N4153

A análise deve ser feita com base na corrente de condução e a TPI

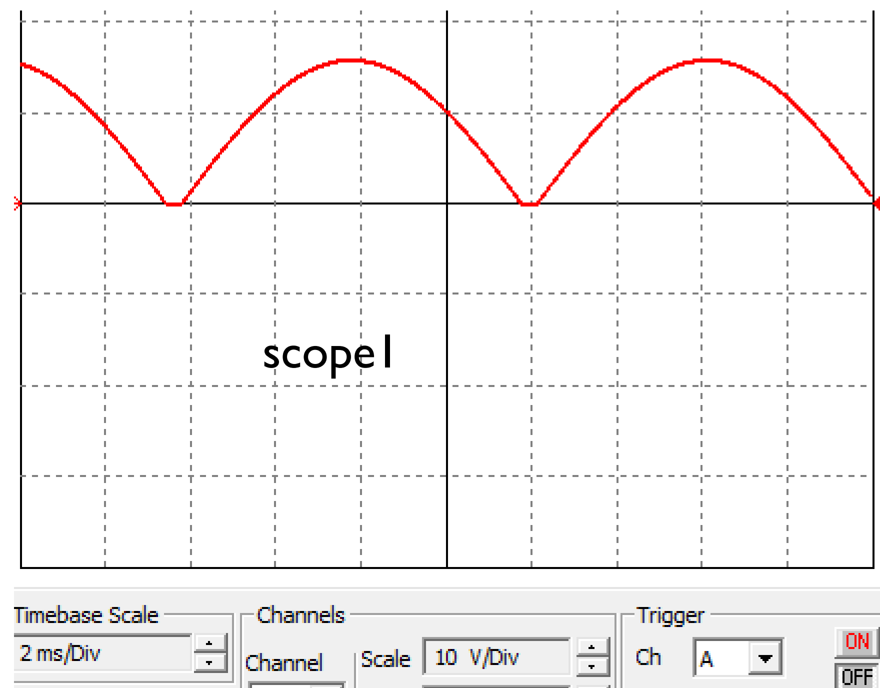
https://www.egr.msu.edu/eceshop/Parts_Inventory/datasheets/1n914%20diode.pdf

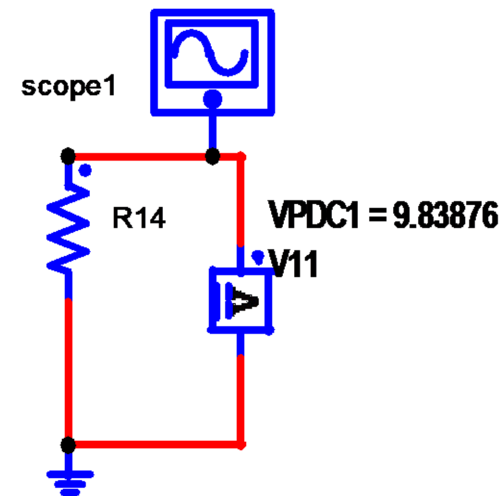
https://mm.digikey.com/Volume0/opasdata/d220001/medias/docus/1121/1N4153.pdf

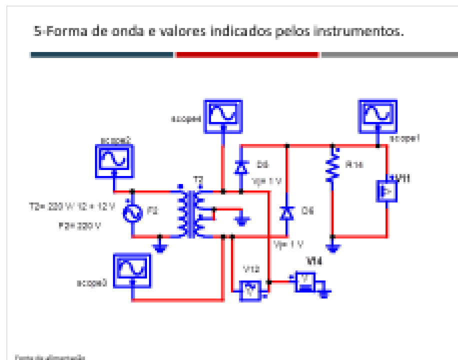
5-Forma de onda e valores indicados pelos instrumentos.



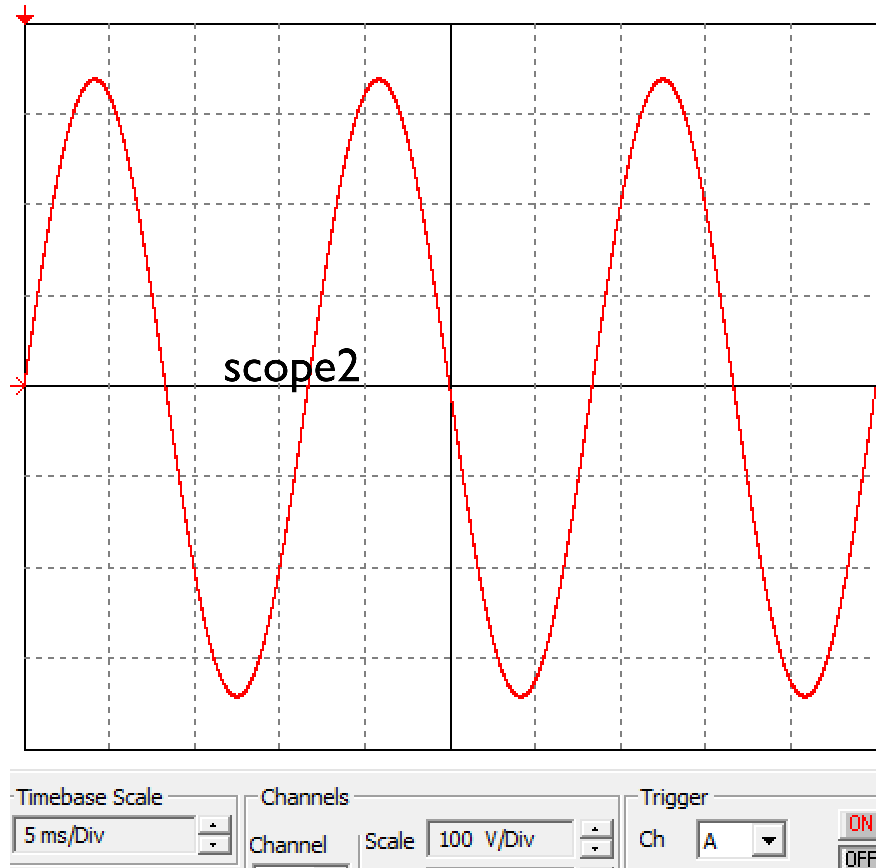
Forma de onda e valores indicados pelos instrumentos.

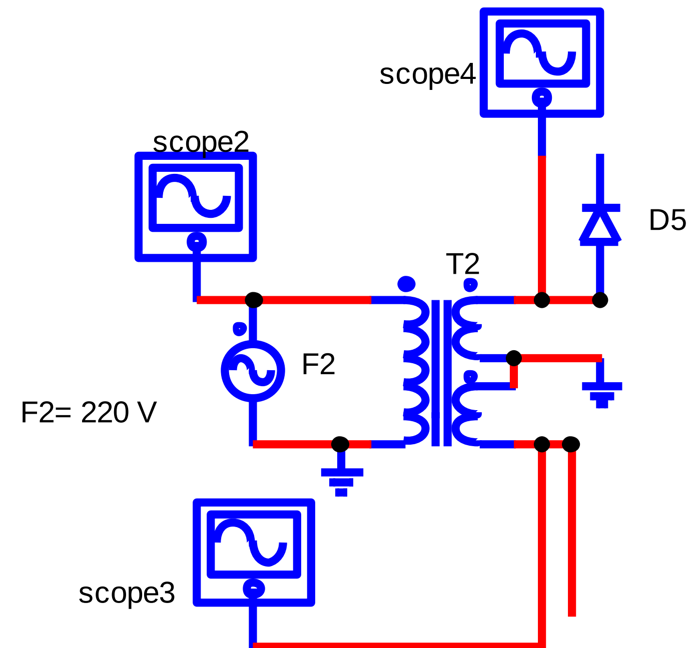


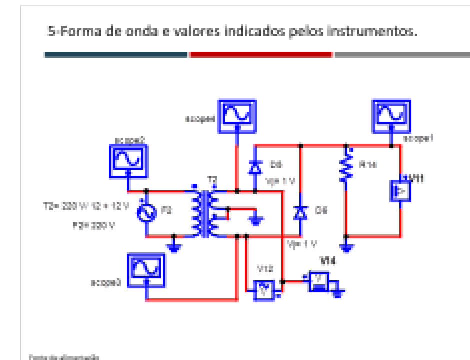




Forma de onda e valores indicados pelos instrumentos.







Forma de onda e valores indicados pelos instrumentos.

scope3

scope4

Timebase Scale

5 ms/Div

Channels

Channel

Scale 10 V/Div

Scale 10 V/Div

Trigger

Ch A

ON

scope4

scope2

D5

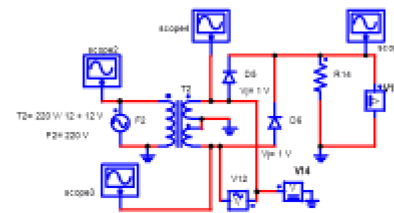
T2

F2

F2= 220 V

scope3

Fonte de alimentação



Forma de onda e valores indicados pelos instrumentos.

T2

D5

Vj= 1 V

D6

Vj= 1 V

R14

V11 = 9.91834

V11

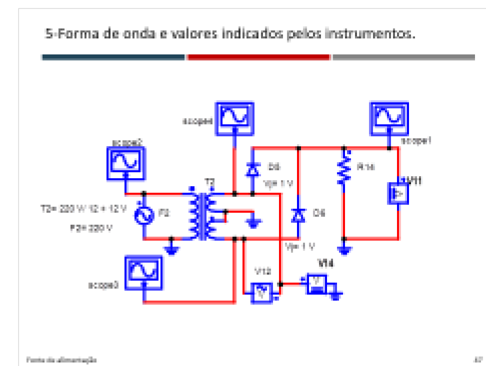
Vdc = (12(sqr2)-1).0,636 = 10,16 V

V14

V12

V12 = 24.01517

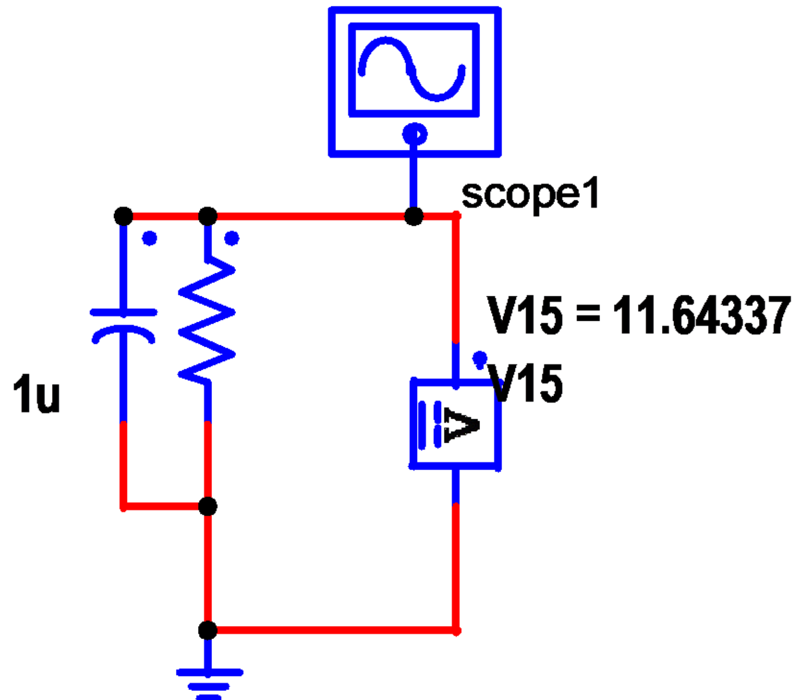
V14 = 0.00049202



Forma de onda e valores indicados pelos instrumentos COM FILTRO

scope1

COM FILTRO



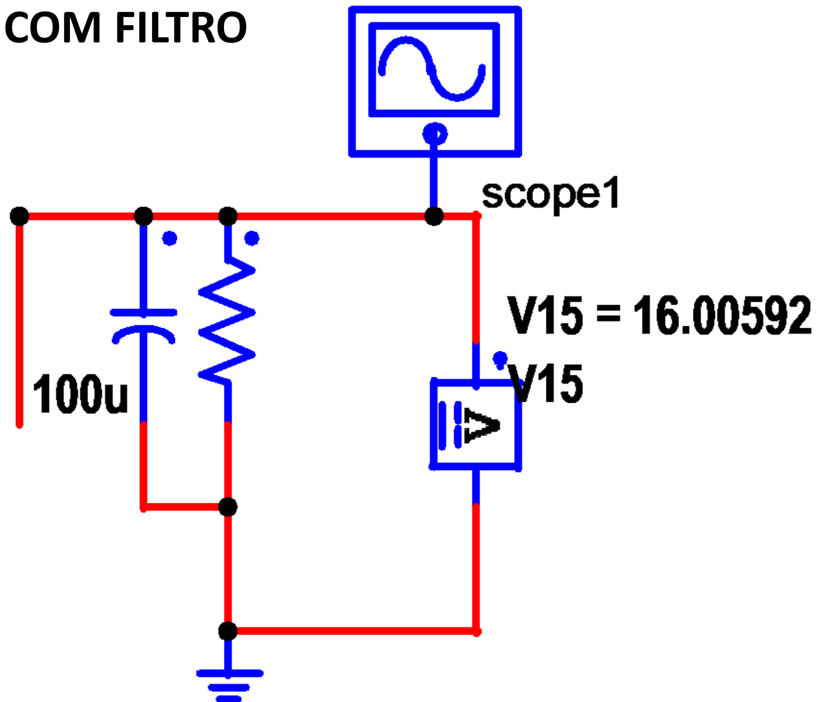
Timebase Scale
2 ms/Div
Name SCOPE11
Color
Save Help
Channels
Channel A
Scale 5 V/Div
Offset 0
Auto scale
Color
DC AC Gnd
Trigger
Ch A
ON
OFF
Once
Level 0
Delay 0

Vdc = (12(sqr2)-1).0,6~~3~~6 = 15~~,9~~7 V

Dependerá do valor do capacitor!

Forma de onda e valores indicados pelos instrumentos COM FILTRO

COM FILTRO



Scope1 acoplamento DC

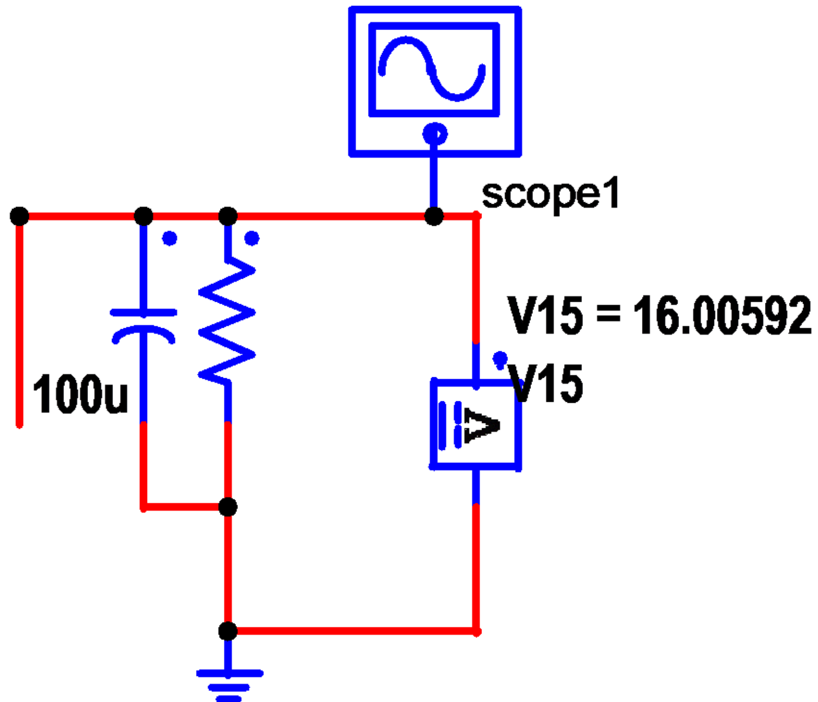
Timebase Scale: 2 ms/Div
Name: SCOPE11
Color | Save | Help

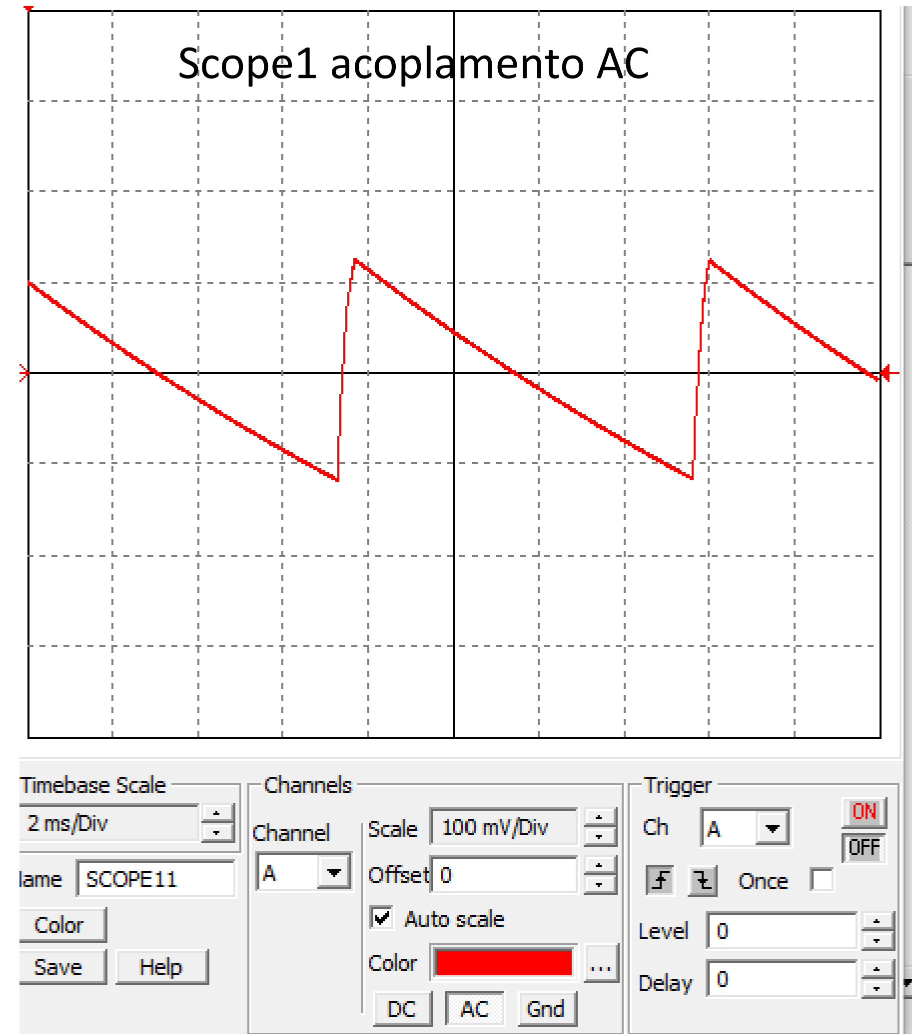
Channels — Channel: A — Scale: 10 V/Div — Offset: 0 — Auto scale — Color — DC | AC | Gnd

Trigger — Ch: A — ON | OFF — Once — Level: 0 — Delay: 0

Vdc = (12(sqr2)-1).0,6~~3~~6 = 15,97 V

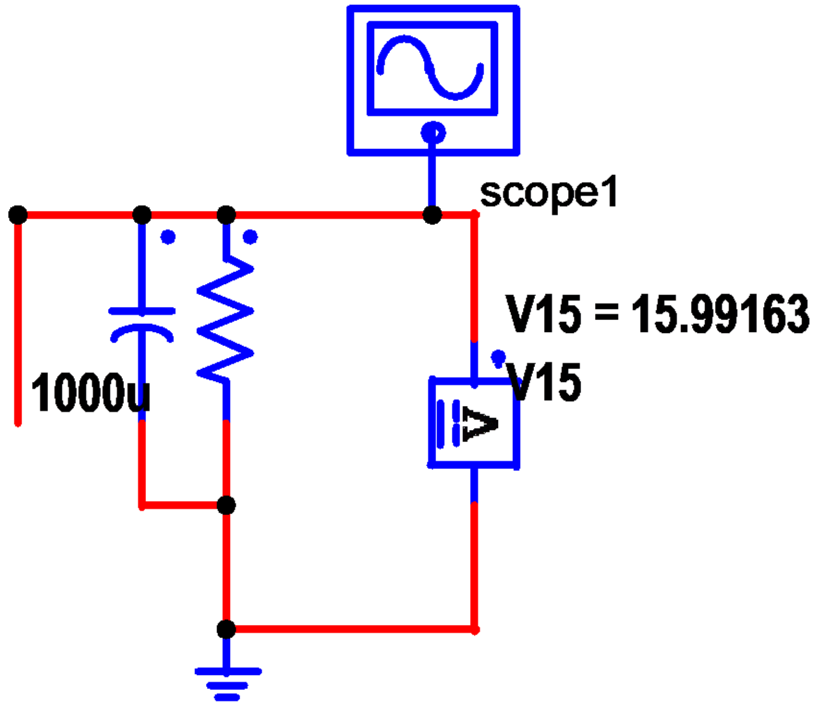
Forma de onda e valores indicados pelos instrumentos COM FILTRO



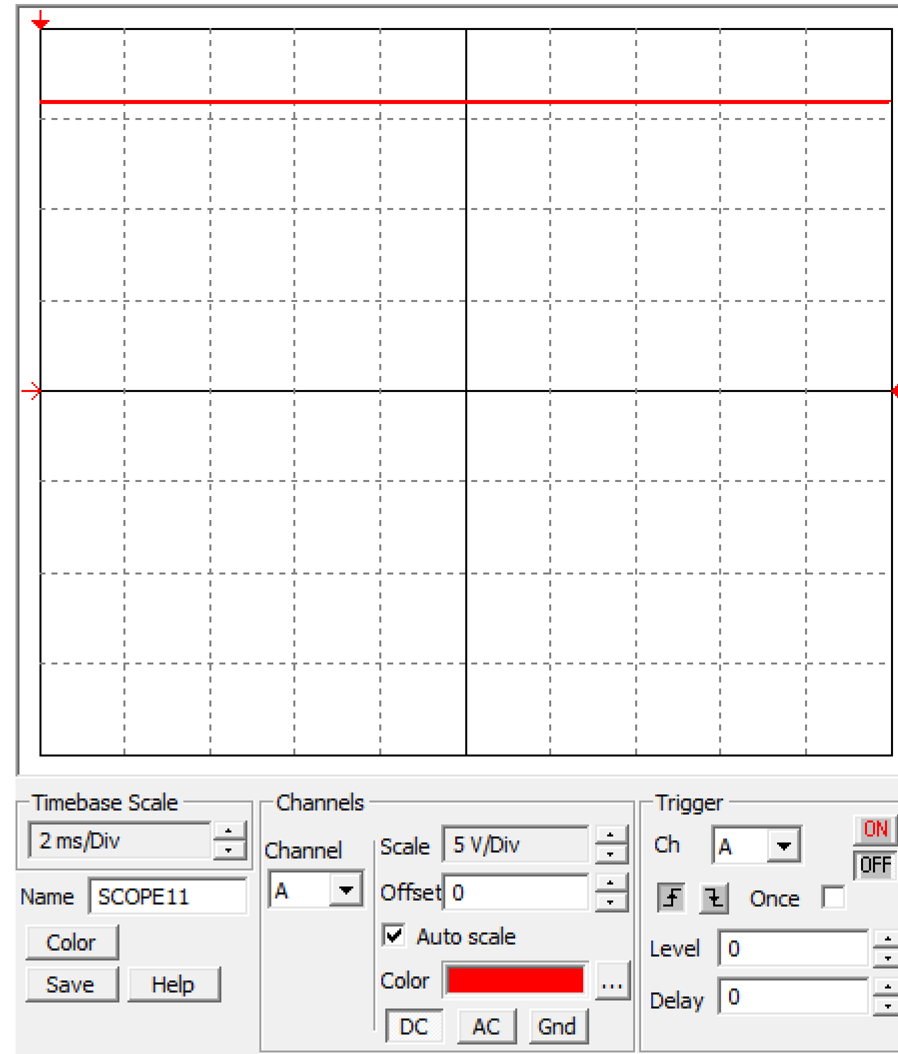


Forma de onda e valores indicados pelos instrumentos COM FILTRO.

COM FILTRO



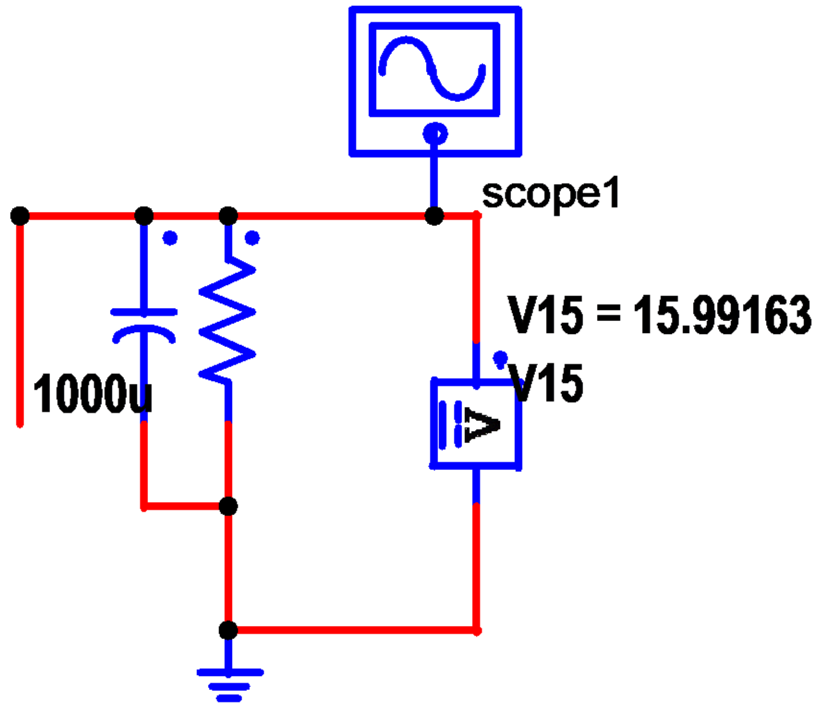
Scope1 acoplamento DC



Vdc = (12(sqr2)-1).0,636 = 15,97V

Forma de onda e valores indicados pelos instrumentos COM FILTRO.

COM FILTRO



Scope1 acoplamento AC

Timebase Scale
2 ms/Div
Name SCOPE11
Color
Save Help

Channels
Channel A
Scale 5 mV/Div
Offset 0
Auto scale
Color
DC AC Gnd

Trigger
Ch A
ON OFF
Once
Level 0
Delay 0